

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

José Diogo Bivar Weinholtz Roseiro

Mestrado em Geologia Económica
Especialização em Prospeção Mineral

Relatório de Estágio orientado por:
Professora Doutora Isabel Ribeiro da Costa

2017

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

José Diogo Bivar Weinholtz Roseiro

Mestrado em Geologia Económica
Especialização em Prospeção Mineral

Relatório de Estágio orientado por:
Professora Doutora Isabel Ribeiro da Costa

2017

Por opção pessoal, esta dissertação foi redigida segundo as normas do antigo
acordo ortográfico.

Agradecimentos

Esta dissertação é o resultado de um trabalho realizado ao longo de um ano e que está longe de ser individual. Várias foram as pessoas que, de um modo directo ou indirecto, contribuíram para a elaboração desta tese, sendo assim necessário ceder algumas palavras de reconhecimento.

Em primeiro lugar, um agradecimento muito especial à minha orientadora, a Professora Doutora Isabel Ribeiro da Costa, por todo o apoio, paciência, insistência e dedicação que me prestou durante este trabalho, sempre incansável e disponível para todas as dúvidas, incertezas e teimosias que me foram surgindo ao longo deste ano.

Uma palavra de gratidão ao Professor Doutor António Manuel Nunes Mateus e ao Professor Doutor Jorge Manuel Verdilhão Figueiras, não apenas por me disponibilizarem todas as condições e informações geológicas para a elaboração desta dissertação, mas também por todo o auxílio prestado relativamente ao complexo do Bailundo e a questões de natureza química e mineralógica. É também de louvar os seus métodos de ensino, que sem dúvida me permitiram crescer e desenvolver as minhas capacidades enquanto profissional. Embora possa não transparecer, estas influencias contribuíram muito para a minha formação como geólogo. Gostaria também de gratificar o Dr. Pedro Rodrigues, operador da microsonda electrónica, por todas as análises e imagens de electrões retro-difundidos aqui exibidas.

É necessário também referir os meus colegas de mestrado GEËCO e alguns amigos que também trabalharam naqueles corredores durante este ano. Ao Ivo Martins, que me proporcionou grandes momentos lúdicos, como os jogos de *fute-pásket* que inventámos em conjunto, pela sua motivação e disponibilidade em momentos de maior frustração e pela camaradagem em situações mais stressantes. Ao Filipe Ribeiro, que foi uma das minhas principais referências a nível pessoal aqui neste mestrado, com o qual batalhei numerosas discussões geológicas bastante produtivas e que, embora tenha passado por situações muito complicadas, sempre me ajudou e motivou bastante ao longo destes meses. Ao André Santos pela companhia constante durante todas as noites de tese, “reuniões” a meio da tarde e pela ajuda em algumas das imagens que aqui apresento. Ao Miguel Santos, que esteve comigo do primeiro ao último dia do mestrado e com quem passei vários momentos peculiares, tanto dentro como fora da faculdade. Ao Marcelo Silva, sempre disponível para apoio técnico, informático e moral, revelando-se essencial na construção dos meus gráficos. Ao Frederico Martins, por todos os momentos proporcionados. À Joana Duarte por aturar as minhas crises (embora estivesse lá na Suíça), sendo uma força de motivação sempre a querer ajudar no que fosse preciso. À Marisa Barreto por servir de amortecedor do meu mau-humor e perder tempo a fazer-me o índice das figuras e algumas das imagens que exponho adiante. À chefe Filipa Luz por ter sido sempre uma fonte de motivação e boa disposição, e principalmente por todos os momentos de descontração proporcionados. À Sofia Pereira por ter servido como life coach para além da vida académica, tendo sido um pilar fundamental durante vários momentos, bons e maus, que passei, dia e noite durante estes meses. O meu agradecimento vai ainda para algumas pessoas que sempre me revelaram um apoio incondicional, embora indirectamente e de forma involuntária, dos quais destaco o Jason Cravo, Mariana Costa, Ana Rocha, Ricardo Martins, João Barbosa, Bruno Duarte, Soraia Silva, João Abreu, Eduardo Soares, João Pambu Reis, Rita Pestana, Nunão Pecten, Bruno Barros, Fernando Godinho, Filipe Lopes, Débora Marques, Vânia Soares, Maggie Ferreira, Arménio Cavaco, Rita Pereira, Ana Medeiros, Paula Dias, Henrique Santos, Joana Araújo, Rita Martins, Kateryna Volochay, João Cravinho Santos, Cristiana Esteves, Rita Ferraz, Joana Carvalho, Joana Ferreira, e Hugo Esteves.

Por fim, mas não menos importante, necessito realçar o significativo contributo dos meus pais, da minha irmã e da minha tia, que sempre me apoiaram, auxiliaram e financiaram tudo o que eu precisei, desde o início do meu percurso académico.

Resumo

A mega-província carbonatítica Brasil-Angola é descrita em Lapido Loureiro (1995) como uma enorme unidade geológica, petrograficamente semelhante nas suas litologias constituintes, metalogeneticamente homogénea pelas suas mineralizações, e geográfico/geocronologicamente coerente quando considerada no contexto ante-abertura do Atlântico. Esta unidade é constituída por um vasto conjunto de complexos carbonatíticos que se distribuem segundo uma direcção NE-SW em ambas as margens do Atlântico Sul. O Complexo Carbonatítico do Bailundo (CCB, em Mungo, Angola) insere-se na Diagonal Transangolana, uma subunidade da mega-província carbonatítica Brasil-Angola, e corresponde a uma estrutura sub-intrusiva anelar, constituída por um núcleo ferro-carbonatítico, um anel sovítico interno, um anel fenítico exterior sobrelevado e um espesso manto colúvio-eluvionar; em profundidade ocorrem também veios glimeríticos. O corpo carbonatítico do Bailundo contém numerosas fases minerais acessórias de interesse geológico e/ou económico, entre as quais de pirocloro, cuja composição é descrita pela fórmula geral $A_{2-m}B_2X_{6-w}Y_{1-n}$, (em que $A = \text{Na, Ca, Ba, Sr, Fe}^{2+}, \text{Pb}^{2+}, \text{ETR, U, Th, } \square$; $B = \text{Nb, Ti, Ta, Zr}$; $X = \text{O} \pm \text{OH e F}$; $Y = \text{OH}^-, \text{F, O, } \square$).

Os minerais do grupo do pirocloro do Bailundo caracterizam-se pela sua enorme variabilidade composicional, o que os torna úteis à compreensão da evolução dos sistemas onde ocorrem, uma vez que registam na sua química mineral os diferentes eventos a que foram sujeitos após a sua génese, nomeadamente modificações metassomáticas e supergénicas tardias. O pirocloro pode ainda servir como guia para mineralizações interessantes (*e.g.* Nb, Fe) pois assinala na sua composição química indícios de eventuais episódios de concentração de metais económicos.

Nos capítulos introdutórios desta dissertação pretende-se descrever de uma forma relativamente pormenorizada: i) a génese dos complexos carbonatíticos, nomeadamente de Angola, com ênfase individual no complexo do Bailundo, ii) a caracterização dos minerais do supergrupo do pirocloro (onde se enquadra o grupo do pirocloro), relatando as suas propriedades cristaloquímicas, efeitos de alteração mais comuns, entre outras particularidades, iii) as metodologias utilizadas neste estudo, e iv) uma análise petrográfica sumária das várias amostras do Bailundo disponibilizadas.

Segue-se o estudo mais detalhado da química mineral e dos zonamentos primários e texturas de alteração, em função da litologia/profundidade em que ocorrem, tendo sido distinguidas várias populações de pirocloros, o que permitiu inferir algumas ilações sobre a evolução química do mineral:

- Pirocloros primários (flúor-cálciopirocloros e hidroxí-cálciopirocloros primários), síncronos da intrusão carbonatítica, com zonamentos concêntricos ou sem qualquer zonamento, ricos essencialmente em Ca, Na e F. Ocorrem em cálcio-carbonatitos frescos e alguns glimeritos, em profundidade, e numa amostra do fenito à superfície.
- Pirocloros metassomatizados (hidroxí-cálciopirocloros secundários), destabilizados por processos tardi-magmáticos, onde texturas complexas e difusas obliteram parcial ou totalmente os zonamentos primários, observando-se um empobrecimento sistemático em Na, Ca e F, concomitantes com o aumento de Ti, U, Th, grupos OH^- e \square^A . Ocorrem essencialmente em cálcio-carbonatitos metassomatizados e rochas glimeríticas, em profundidade, e numa amostra do fenito à superfície.
- Pirocloros supergénicos (hidroxí-cálciopirocloros secundários e hidroxí-báriópirocloros), onde se observam efeitos dos processos da meteorização química (preferencialmente em zonas fracturadas),

essencialmente na lixiviação/substituição de Na, Ca, U, Th e F por Ba, Pb, □^A. Ocorrem em todas as amostras de cálcio-carbonatito e ferro-carbonatito aflorantes.

Os pirocloros mais próximos da mineralização de Fe do Bailundo apresentam preenchimentos de óxi-hidróxidos de Fe em veios e fracturas e teores em Pb, F, Ca e Na superiores (e inferiores em Ba, Th, U e □^A) em relação aos pirocloros das litologias envolventes, o que poderá servir como indicador ou guia de prospecção.

Para além dos objectivos principais deste estudo, especulou-se ainda sobre a potencialidade do CCB como hospedeiro de mineralizações de Ba, Ti, P, F, U, Th e ETR com base em diferenciais de concentrações nestes elementos na composição do pirocloro, uma vez que maiores teores no sistema poderão indicar anomalias geoquímicas espaciais. Contudo, é necessário continuar os trabalhos neste depósito para uma compreensão mais aprofundada de possíveis mineralizações.

Mais do que um estudo detalhado dos minerais do grupo do pirocloro, esta dissertação serve ainda para corroborar e refinar os dados obtidos em estudos prévios efectuados ao Complexo Carbonatítico do Bailundo, nomeadamente as dissertações de Lapido Loureiro (1995), Santos (2010), Beleque (2010) e Pereira (2011).

Palavras-chave: Pirocloro, Complexo Carbonatítico do Bailundo, Geoquímica, Metalogenia, Prospecção Mineral

Abstract

The Brazilian-Angolan carbonatite mega-province is described by Lapido Loureiro (1995) as an enormous geological unit, petrographically similar in its lithologies, metallogenically homogeneous in its mineralizations and geographically/geochronologically coherent when considered in the ante-Atlantic opening context. This unit consists of a large set of carbonatite complexes distributed in an NE-SW trend on both sides of the South Atlantic. The Bailundo Carbonatitic Complex (CCB, in Mungo, Angola) belongs in the Transangolan Diagonal belt, a subunit of the Brazilian-Angolan carbonatite mega-province, and has a ring-like sub-intrusive structure, consisting of an iron-carbonatite core, an internal sovitic ring, a raised fenite external ring and a thick colluvial-elluvial deposit; glimmerite veins are also found at certain depths. The Bailundo carbonatite body contains several accessory mineral phases of geological and/or economic interest, including pyrochlore, whose composition can be described by the general formula $A_{2-m}B_2X_{6-w}Y_{1-n}$ (in which $A = \text{Na, Ca, Ba, Sr, Fe}^{2+}, \text{Pb}^{2+}, \text{ETR, U, Th, } \square$; $B = \text{Nb, Ti, Ta, Zr}$; $X = \text{O} \pm \text{OH, F}$; $Y = \text{OH}^-, \text{F, O, } \square$).

The pyrochlore group minerals in the CCB are characterized by their huge compositional variability, which makes them useful for understanding the evolution of the systems in which they occur, as they register in their mineral chemistry the different events to which they were exposed after their genesis, such as late metasomatic and supergene modifications. Pyrochlore may also be useful as a mineralogical marker for nearby mineralizations (*e.g.* Nb, Fe), as it can register evidence of some metallogenic events in its chemical composition.

In the introductory chapters of this dissertation, the intention is to describe in detail: i) the genesis of the carbonatite complexes, mainly in Angola, with particular emphasis on the Bailundo complex; ii) the pyrochlore supergroup minerals (to which the pyrochlore group minerals belong), namely their crystalchemical features, common alteration textures, and other properties, iii) the analytical procedures used in this study, and iv) an abbreviated petrography of various samples from the Bailundo complex.

In the detailed study of the mineral chemistry, primary zonings and alteration textures of the CCB pyrochlores, several populations of pyrochlore were distinguished, which allowed some assumptions about the chemical evolution of this mineral:

- Primary pyrochlores (fluor-calcio-pyrochlore and hydroxy-calcio-pyrochlore), are synchronous of the carbonatite intrusion, exhibit a concentric zonation or no zonation at all, and high or relatively high Ca, Na and F contents. These pyrochlores occur in the fresh calcio-carbonatite and in some glimmerite rocks, in depth, and in one surface fenite sample.
- Metasomatic pyrochlores (secondary hydroxy-pyrochlore), destabilized by late-magmatic processes, in which some oscillatory and diffuse textures partially or totally obliterate the primary zonations, show a systematic impoverishment in Na, Ca and F, concomitant with the increasing contents of Ti, U, Th, OH⁻ and \square^A . These pyrochlores occur mainly in metasomatised calcio-carbonatite and many glimmerite rocks in depth, and in another surface fenite sample.
- Supergene pyrochlores (secondary hydroxy-pyrochlore and hydroxy-bario-pyrochlore), in which the chemical weathering can be observed (along fracture areas), as Na, Ca, U, Th and F are gradually depleted, or occasionally replaced by Ba, Pb and \square^A . These pyrochlores appear in all the carbonatite outcrops.

The pyrochlore minerals associated with the CCB iron mineralization show iron oxides-hydroxides sealing veins and fractures and contain higher Pb, F, Ca, and Na contents (and lower Ba, Th, U and \square^A contents)

when compared to the pyrochlores in the other rocks, so they might be useful as iron-mineralization indicators or guides for mineral exploration purposes.

Beyond the main focus of this study, some arguments are presented concerning the potential of the CCB as a host for Ba, Ti, P, F, U, Th and REE mineralizations, based on the extreme variation of these elements in the pyrochlore composition, as higher concentrations of some of those elements in the system might indicate geochemical anomalies on a regional scale. However, it is essential to continue the detailed study of this complex, for a better understanding of ore mineralizations.

More than a detailed study of the pyrochlore group minerals, this dissertation has also contributed to support and refine the previous studies carried out on the Bailundo Carbonatitic Complex, namely those obtained by Lapido Loureiro (1995), Santos (2010), Beleque (2010) and Pereira (2011).

Key-words: Pyrochlore, Bailundo Carbonatitic Complex, Geochemistry, Metalogeny, Mineral Exploration

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice	vii
Índice de Figuras e Tabelas	viii
Lista de Acrónimos e Abreviaturas	xi
I. Introdução.....	1
II. Enquadramento Geológico.....	3
II.1. Complexos Carbonatíticos.....	3
II.2. Complexos Carbonatíticos em Angola	5
II.3. Complexo Alcalino-Carbonatítico do Bailundo	7
III. Metodologias.....	11
III.1. Estudo Petrográfico	11
III.2. Análise por Microsonda Electrónica (MSE).....	11
III.3. Fundamento Teórico e Correções	11
III.3.1. Condições Analíticas	12
IV. Supergrupo do Pirocloro	13
IV.1. Nomenclatura	14
IV.2. Zonamento e Alteração	15
IV.3. Economia Mineral.....	16
IV.3.1. Nióbio.....	16
IV.3.2. Tântalo.....	17
IV.3.3. Urânio.....	18
IV.4. Cálculo da Fórmula Estrutural	19
V. Síntese petrográfica.....	20
V.1. Amostras da Sondagem	21
V.2. Amostras de Superfície.....	24
VI. Pirocloro do CCB.....	26
VI.1 Química Mineral	28
VI.1.1 Pirocloros da Sondagem.....	28
VI.1.2 Pirocloros Superficiais	31
VI.1.3 Validação das análises químicas de pirocloros em trabalhos prévios	34
VI.2 Zonamento Primário e Texturas de Alteração.....	41

VII. Discussão	51
VII.1. Pirocloro como indicador petrogenético	51
VII.2. Pirocloro como indicador metalogenético	57
VIII. Conclusões e Considerações finais	62
IX. Referências bibliográficas	68

Índice de Figuras e Tabelas

Figura II.1 - Principais ocorrências de complexos carbonatíticos.	4
Figura II.2 - Distribuição dos complexos alcalino-carbonatíticos na província Paraná-Angola-Namíbia. .	6
Figura II.3 - a) Localização geográfica e enquadramento tectónico dos principais complexos carbonatitos angolanos; b) Localização de Angola em África, com megalineações tectónicas; c) Localização dos complexos carbonatíticos na Diagonal Transangolana.	7
Figura II.4.a - Mapa geológico do Complexo Carbonatítico do Bailundo.	9
Figura II.4.b - Perfil topográfico SW-NE do Complexo Carbonatítico do Bailundo.	10
Figura IV.1 -Estrutura cristalina ideal do pirocloro.	13
Figura V.1 - Imagens em microscópio petrográfico representativas das amostras da sondagem	22
Figura V.2 - Esquema representativo da sondagem subvertical BLS, baseado na sua interpretação petrográfica.....	23
Figura V.3 - Distribuição espacial das amostras superficiais colhidas no CCB.....	24
Figura V.4 - Imagens em microscópio petrográfico representativas das amostras de superfície,.....	25
Figura VI.1 - Diagramas ternários com os principais constituintes composicionais (apfu) do pirocloro pertencente às rochas profundas do CCB.....	29
Figura VI.2 -Relação elementar entre alguns constituintes químicos dos pirocloros profundos do CCB, em apfu.....	30
Figura VI.3 - Diagramas ternários com os principais constituintes composicionais (apfu) do pirocloro pertencente às rochas aflorantes do CCB.	32
Figura VI.4 -Relação elementar entre alguns constituintes químicos dos pirocloros superficiais do CCB, em apfu.....	33
Figura VI.5 -Projecções de algumas análises efectuadas por Santos (2010), Beleque (2010) e Pereira (2011), válidas enquanto base de dados referente aos pirocloros do CCB.....	35
Figura VI.6 -Zonação críptica em imagem de electrões retrodifundidos e perfis de variação intragranular para Nb, Na/Ca, U+Th e F em vários pirocloros bem zonados, pertencentes à amostra BLS-1a.	42
Figura VI.7 -Zonação críptica em imagem de electrões retrodifundidos e perfis de variação intragranular para Nb, Ca+Na, U+Th e F em vários pirocloros bem zonados, pertencentes à amostra BLS-1b.....	43
Figura VI.8 - Zonação críptica em imagem de electrões retrodifundidos e perfis de variação intragranular para Nb, Ta+Ti+Zr, Ca+Na, U+Th, F e lacunas na posição A em vários pirocloros bem zonados, pertencentes às amostras B-5 (a), B-7 (b) e B-11 (c).	44
Figura VI.9 -Zonação críptica em imagem de electrões retrodifundidos e localização dos pontos de análise em pirocloros com texturas muito difusas, das amostras B-1a (a), B-4b (b) e B-18 (c e d).....	45
Figura VI.10 -Imagens de electrões retrodifundidos, correspondente a pirocloros da amostra BLP-40, representativo do Fe-carbonatito, e respectivos pontos de análises.	46

Figura VI.11 -Imagens de electrões retrodifundidos, correspondentes a pirocloros da amostra BLP-5 (a e b) e BLP-6 (c) e BLP-29 (d).....	47
Figura VI.12 - Imagem de electrões retrodifundidos, correspondente a pirocloros da amostra BLP-39, representativos do bordo SE do anel Ca-carbonatítico superficial, e respectivos pontos de análises.	48
Figura VI.13 - Imagens de electrões retrodifundidos, correspondente a pirocloros do fenito NE, onde se observam pirocloros muito preservados da amostra BLP-31 (a e b) e os pirocloros bastante alterados da amostra BLP-32 (c e d), e respectivos pontos de análise.	49
Figura VII.1 - Diagrama ternário (Ca-Na-Avac, apfu) referente à evolução do pirocloro do Bailundo (da a) sondagem; b) rochas superficiais)	55
Figura VII.2 -Gráfico da correlação entre Nb versus Nb/Ti, representando as variações na fraccionação destes elementos durante a formação e a alteração dos pirocloros do CCB.....	56
Figura VII.3 -Mapa representativo do depósito colúvio-eluvionar, susceptível a enriquecimento residual	58
Figura VII.4 -Diagrama ternário com composições entre Ba-Pb-Th e gráficos de concentração elementar Na vs Ca (apfu) e Avac vs F (apfu), discriminativos das amostras de Fe-carbonatito e fenitos em relação às restantes rochas aflorantes do CCB.	59
 Tabela III.1 - Pacote analítico e padrões elementares utilizados na MSE.	12
Tabela IV.1 - Matriz sumária da estruturação da terminologia dos diferentes minerais do supergrupo do pirocloro.	14

Lista de Acrónimos e Abreviaturas

Domínios Geológicos e Metalogenéticos

3TG	Tin-Tungsten-Tantalum-Gold	AR	Arcaico
CCB	Complexo Carbonatítico do Bailundo	LCT	Lítium-Césium-Tantalum
PAN	Província Paraná-Angola-Namíbia	PR	Proterozóico

Noções de Geoquímica

□	Lacunas Estruturais	A-vac	Lacunas Estruturais na Posição A
apfu	Átomos por fórmula unitária	ETR	Elementos do Grupo das Terras Raras
ETRL	Elementos do Grupo das Terras Raras Leves	ETRP	Elementos do Grupo das Terras Raras Pesadas
LILE	Large Ion Lithophile Elements	HFSE	High Field Strength Elements
Ptotal	Pressão total	PCO₂	Pressão do CO ₂
pfu	Por fórmula unitária	Wt %	Peso por cento

Fases Minerais (Análise Petrográfica)

Anf	Anfibola	Ap	Apatite
Carb	Minerais carbonatados	Felds-K	Feldspato potássico
Ae-Au	Aegirina-augite	Mgt	Magnetite
Ox-Hidrox-Fe	Óxidos/Hidróxidos de Fe	Hem	Hematite
Gt	Goethite	Phl	Flogopite
Px	Piroxena	Pyr	Pirocloro
Ol	Olivina	Qz	Quartzo

Entidades e Organizações

CBMM	Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração	CNMNC	Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification
-------------	--	--------------	---

FCUL Faculdade de Ciências da
Universidade de Lisboa

IUGS International Union Geological
Sciences

Diversos

MSE Microsonda Electrónica

ppm Partes por milhão

s.l. *Sensu lato* (em sentido lato)

M.a. Milhões de Anos

e.g. *Exempli gratia* (por exemplo)

i.e. *Id est* (isto é)

c.a. *Circa* (cerca)

RDC República Democrática do Congo

HSLA High-strength Low-alloy

I. Introdução

As matérias-primas minerais são recursos geológicos finitos e não renováveis que constituem a base de uma cadeia de processos de transformação que resultam em produtos com aplicação no bem-estar social. Embora estes recursos sejam esgotáveis, as suas reservas efectivas são susceptíveis de expansão contínua devido ao aumento do desenvolvimento tecnológico e científico. O incremento de reservas presumivelmente finitas é justificado pela gestão da informação sobre o recurso em causa, particularmente sobre os modelos geológicos (e metalogenéticos), o conhecimento de províncias com potencial para uma exploração economicamente rentável e a informação geocientífica disponível, assim como os correspondentes meios logísticos e financeiros. Existe uma interdependência entre as características de um sistema mineralizante, nomeadamente: i) a sua constituição litológica e estratigráfica, ii) a sua arquitetura e iii) a sua distribuição espaço-temporal, as quais reúnem as condições necessárias à geração de concentrações anómalas de metais económicos. O conhecimento detalhado de todas estas variáveis contribui para a elaboração de modelos geológicos que servem como princípios-guia de prospecção (e pesquisa) mineral. Após a detecção destas anomalias geoquímicas, é necessário assegurar a sua continuidade, sendo fundamentais os estudos de detalhe (como a realização de sondagens e análises dos respectivos testemunhos) e posterior caracterização precisa do controlo mineralógico e estrutural do sistema, de modo a refinar o modelo existente, tendo em consideração os processos relacionados com a sua génese, com particular destaque na evolução de fases minerais portadoras de elementos com interesse económico. Uma vez justificada a importância do conhecimento geológico (no seu sentido mais lato) para um abastecimento seguro em matérias-primas minerais. Esta dissertação destina-se ao estudo aprofundado de minerais do grupo do pirocloro em diferentes fácies litológicas do Complexo Carbonatítico do Bailundo (em Angola), de modo a compreender a sua utilização como indicadores petrogenéticos e metalogenéticos na dinâmica de um sistema carbonatítico, na perspetiva da investigação científica aplicada à prospecção mineral.

Pirocloro é a designação dada a um supergrupo de óxidos que apresentam uma estrutura e composição extremamente complexa, e que ocorrem principalmente como fases acessórias comuns em carbonatitos e em rochas alcalinas associadas (Sharygin *et al.*, 2009); a sua composição genérica é descrita pela sua fórmula $A_{2-m}B_2X_{6-w}Y_{1-n}$ (em que $A = \text{Na, Ca, Ag, Mn, Sr, Ba, Fe}^{2+}, \text{Pb}^{2+}, \text{Sn}^{2+}, \text{Sb}^{3+}, \text{Bi}^{3+}, \text{Y, Ce}$ (e outros ETR), $\text{Sc, U, Th, } \square$, ou H_2O ; $B = \text{Ta, Nb, Ti, Sb}^{5+}, \text{W, V}^{5+}, \text{Sn}^{4+}, \text{Zr, Hf, Fe}^{3+}, \text{Mg, Al}$ e Si ; $X = \text{O} \pm \text{OH}$ e F ; $Y = \text{OH}^-, \text{F, O, } \square, \text{H}_2\text{O, K, Cs}$ e Rb). Como se deduz da sua fórmula geral, os minerais do supergrupo do pirocloro evidenciam uma enorme diversidade química e podem ser utilizados como indicadores de depósitos minerais bastante singulares, sendo a sua variabilidade composicional útil para definir tipologias de jazigos e fornecer indícios de mineralizações de Nb, Ta, Ti, Sb, W, U, P, ETR ou de outros metais pouco comuns, mas economicamente rentáveis.

Em Angola são conhecidos vários complexos alcalino-carbonatíticos, os quais correspondem a estruturas sub-intrusivas com morfologia sub-circular que se distribuem ao longo de dois alinhamentos tectónicos intra-continentais. A distribuição dos complexos carbonatíticos nas duas margens do Atlântico Sul está condicionada pelos processos decorrentes da abertura do oceano Atlântico e relacionada com estruturas geológicas pré-existentes; estas províncias correspondem ao alinhamento Paraná-Angola-Namíbia (que inclui a mega-província carbonatítica Brasil-Angola), e que por sua vez se desenvolve em três faixas principais angolanas denominadas Zona Centro, Zona Centro-Oeste e Zona Sudoeste (Lapido Loureiro, 1995). Considerando a separação entre os continentes africano e sul-americano, verificam-se semelhanças em ambas as margens atlânticas, não só nas estruturas alcalino-carbonatíticas que aí ocorrem, alinhadas aproximadamente NE-SW, mas também na sua mineralogia, caracterizada pela presença abundante de

pirocloro, apatite, Ti-magnetite e minerais portadores de elementos do grupo das terras raras (ETR). Nestes complexos observam-se também solos lateríticos originados por alteração química e enriquecimento residual, propícios à acumulação de Nb sob a forma de pirocloro. Uma vez que o Brasil é o maior produtor mundial de Nb e apresenta estas correlações metalogenéticas com Angola, é possível inferir que existem reservas não-desprezáveis de Nb em complexos alcalino-carbonatíticos angolanos, como parecem indicar as evidências geológicas e geoquímicas no depósito alcalino-carbonatítico do Bailundo. É de realçar a importância do desenvolvimento científico e do investimento no conhecimento geológico destes complexos carbonatíticos levado a cabo nas últimas décadas, que permitiram aperfeiçoar bases de dados da informação disponível, e assim tirar o maior proveito dos recursos minerais.

Foram efectuados vários estudos nos maciços carbonatíticos angolanos, nomeadamente os trabalhos pioneiros de Polinard (1939), Machado (1958), Matos Alves (1968), Lapido-Loureiro (1973) e, mais tarde, de Alberti *et al.* (1999), os quais mencionam a presença de minerais de Nb, mas durante anos as condicionantes políticas e socioeconómicas impediram estudos mais detalhados destes complexos. Mais recentemente, os trabalhos de Beleque (2010), Santos (2010) e Pereira (2011) constituíram um contributo importante para o conhecimento detalhado do Complexo Carbonatítico do Bailundo.

Assim, com base na interpretação petrográfica de amostras provenientes do Complexo Carbonatítico do Bailundo, obtidas a partir de trabalhos de prospecção pela empresa Genius Mineira Lda. no período de 2008-2010 e na análise química detalhada de um extenso conjunto de pirocloros por microsonda electrónica, esta dissertação compromete-se a responder a três questões principais:

- Verificar a variabilidade composicional dos pirocloros que ocorrem como mineral acessório frequente em rochas carbonatíticas da região do Bailundo, caracterizando a distribuição/proporção elementar nas várias posições estruturais do mineral;
- Correlacionar a composição específica destes minerais com as litologias locais, com a profundidade a que ocorrem e com o grau de meteorização e/ou metassomatismo que as afectam;
- Utilizar a composição específica dos pirocloros como indicador metalogenético, relacionando-a com tipologias de depósitos minerais locais.

Além dos objectivos acima enunciados, este trabalho vai também compilar e discutir a informação disponível sobre o Complexo Carbonatítico do Bailundo, relativa às matérias-primas minerais que hospeda, algo idêntico a um *estado da arte* sobre este depósito. A diversidade de metais passíveis de uma exploração economicamente lucrativa contidos nas diversas fases minerais e o facto de ser um afloramento pouco comum em comparação com outros jazigos orto-magmáticos, remete o CCB como caso de estudo interessante do ponto de vista de vários tópicos geológicos.

II. Enquadramento Geológico

II.1. Complexos Carbonatíticos

Os complexos carbonatíticos correspondem a produtos de magmas mantélicos gerados e instalados durante os eventos de reactivação tectono-magmática de terrenos antigos, predominantemente de idade pré-câmbrica. As rochas carbonatíticas que os constituem são definidas, de acordo com o sistema de classificação da IUGS (International Union Geological Sciences), como rochas ígneas constituídas por mais de 50% em volume de minerais carbonatados primários, contendo menos de 10% (peso) de sílica (Woolley *et al.*, 1989). No grupo das rochas carbonatíticas distinguem-se várias classes de acordo com a fase mineral carbonatada dominante, com base na variação da componente em cálcio, magnésio, ferro ou em elementos alcalinos sendo estas:

- Carbonatitos calcíticos - compostos por minerais carbonatados ricos em Ca e denominados sovitos, se apresentarem granularidade grosseira, ou alviquitos se apresentarem granularidade média-fina.
- Carbonatitos dolomíticos - compostos por minerais carbonatados ricos em Mg e denominados beforsitos.
- Ferro-carbonatitos - compostos por minerais carbonatados ricos em Fe, como a siderite e a anquerite.
- Natro-carbonatitos - composto por minerais carbonatados ricos em Na, K e Ca, também denominados lengaítos, conhecido apenas como rocha vulcânica.

Embora a composição da maioria dos magmas seja representada pelo espectro basalto-andesito-dacito-riólito, alguns desviam-se dessas tendências, apresentando características composicionais bastante exóticas. Líquidos magmáticos que são empobrecidos em sílica, mas com grandes concentrações de elementos alcalinos (Na e K) ou alcalino-terrosos (Ca) são relativamente raros e contêm concentrações importantes de vários metais económicos (como Fe, P, Nb, ETR, F, U e Th). Os magmas máficos alcalinos, como os magmas nefeliníticos (de onde cristalizam as rochas do grupo do ijolito) e os magmas traquítico-fonolíticos (de onde cristalizam os sienitos ou os seus equivalentes vulcânicos) associam-se frequentemente aos fundidos carbonatíticos; todos estes magmas são incontestavelmente primários, uma vez que derivam do manto a partir de baixas taxas de fusão parcial e em condições de alta P_{total} e P_{CO_2} (Hall, 1996, *in* Robb, 2013). A relação entre os fundidos nefeliníticos ou traquítico-fonolíticos e os fundidos carbonatíticos é geralmente atribuída a processos de imiscibilidade de líquidos, pelo que um magma silicatado de composição nefelinítica-fonolítica e com uma forte componente carbonatada se exsolve em duas fracções magmáticas (fracção silicatada e fracção carbonatada); a separação da fase carbonatada, por fracionamento da calcite, resulta num líquido residual bastante alcalino (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2007). Estas fases de diferenciação magmática ocorrem em regiões relativamente estáveis da crosta continental (como escudos intra-cratónicos), uma vez que nestas condições os magmas se diferenciam em sistema fechado, sem perda significativa das componentes voláteis, desenvolvendo assim o seu carácter alcalino (Lapido Loureiro, 1995). Outros processos passíveis de formação de carbonatitos são o fracionamento prolongado de um magma primário cálcio-carbonatado sob condições anidras (Gittins, 1989, *in* Lapido Loureiro, 1995) ou a fusão de sedimentos ricos em minerais carbonatados, como trona (carbonato hidratado de sódio, característico de evaporitos) na subestrutura vulcânica (Peterson & Marsh, 1986, *in* Lapido Loureiro, 1995).

Em geral os principais complexos carbonatíticos ocorrem em províncias ou aglomerados (*clusters*) em zonas de reactivação da actividade magmática carbonatada. Actualmente são conhecidas 330 ocorrências de rochas carbonatíticas no mundo, distribuídas em todos os continentes (excepto na Antártida), e com idades compreendidas desde o Pré-Câmbrico até ao presente, sendo reconhecidos em ambiente oceânico apenas

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

nas ilhas dos arquipélagos de Cabo Verde e Canárias (Beleque, 2010). As maiores concentrações destes complexos localizam-se em África (maioritariamente inseridos ou perto do *Rift* Este Africano) e na América do Norte (no Escudo Canadiano) (Figura II.1). As fácies carbonatíticas intrusivas dominam claramente sobre as extrusivas, representando estas últimas apenas cerca de 10% das ocorrências conhecidas em todo o Mundo (Mourão *et al.*, 2010).

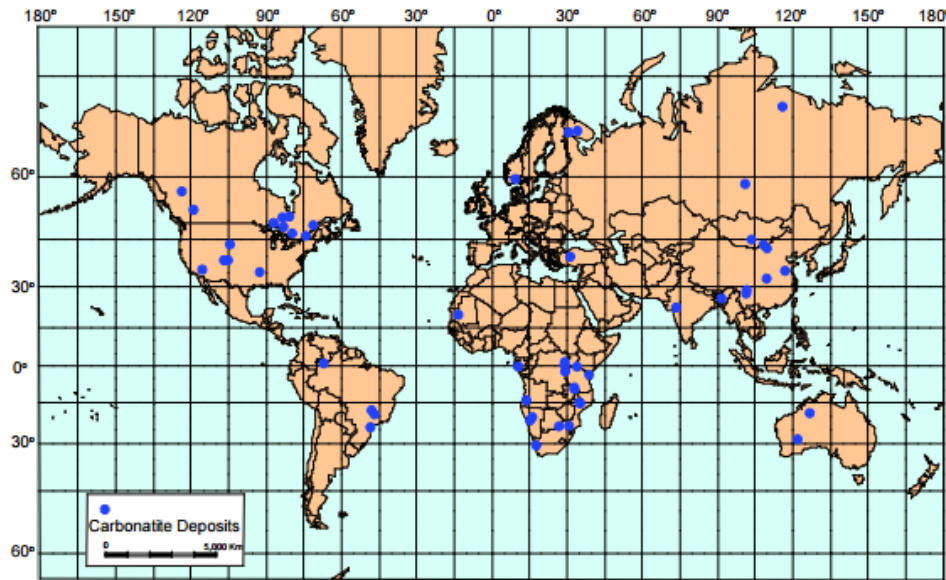


Figura II.1 - Principais ocorrências de complexos carbonatíticos (retirado de Berger *et al.*, 2009).

Em regiões intertropicais, a arquitectura dos complexos carbonatíticos tem uma grande influência na formação de depósitos minerais de enriquecimento residual. A meteorização incidente nestas rochas actua como um agente gerador de depósitos de minerais supergénicos, por enriquecimento relativo em minerais resistentes à alteração. Estas rochas, que se associam frequentemente a estruturas geológicas passíveis de limitar ou impedir erosão, reúnem assim condições favoráveis para a formação de jazigos de minerais económicos. A formação da morfologia particular destes complexos está atribuída aos processos geodinâmicos e a uma actividade magmática específica, geradora de estruturas circulares de diques, soleiras (*sills*) ou de domas vulcânicos; estas estruturas podem também resultar da erosão de domos e de zonamento químico-petrográfico, que assinala zonas/halos de metassomatismo ou fenitização (alteração de rochas félsicas por fluidos alcalinos derivados da intrusão carbonatítica) no seu encaixante. Assim, de acordo com Lapido Loureiro (1995), é possível identificar diferentes processos de formação da morfologia circular dos complexos carbonatíticos, que podem coexistir ou sobrepor-se num mesmo complexo:

- “Processos fracturantes”: i) de distensão, sempre que a pressão hidrostática é superior à litostática, onde o magma pressiona as rochas encaixantes, fracturando-as, dando origem a sistemas de falhas que convergem para a parte superior, preenchidas por material proveniente da câmara magmática (originando os diques em anel, ou *Ring-Dykes*); ii) de tensão, quando a pressão litostática é superior à hidrostática, formando-se falhas circulares que divergem do interior para zonas mais superficiais, originando uma estrutura em cone invertido (*Cone-Sheets*); ou iii) caldeiras de subsidência, quando a ampliação destes diques anelares suscita o afundamento/abatimento dos blocos delimitados por eles, em adição à ascensão do magma.

- “Processos deformantes” – dos quais resultam domas, que consistem em estruturas circulares consequentes da deformação de metassedimentos em consequência da actividade subvulcânica carbonatítica. A erosão do sector central (mais arqueado e fracturado) desses metassedimentos origina cristas circulares sobrelevadas e contínuas, com as camadas a inclinar para o exterior.
- “Zonamento químico-petrográfico” - o metassomatismo (fenitização) de grande intensidade devido ao contraste físico-químico entre o carbonatito e a rocha encaixante, susceptível de desencadear processos de remobilização de sílica, pode gerar relevos e estruturas anelares. As frentes metassomáticas ou de silicificação originam variações químico-mineralógicas concêntricas que, por erosão diferencial, promovem a formação da morfologia característica dos complexos carbonatíticos, como é o caso do Complexo Carbonatítico do Bailundo.

Estes complexos podem ainda ocorrer como rolhões (*plugs*) e *stocks*, de grandes dimensões, com morfologia semelhante a cones vulcânicos, destacando-se em áreas peneplanizadas. Estas estruturas foram sujeitas a fortes variações térmicas que provocam uma intensa desagregação mecânica e erosão. (Lapido Loureiro, 1995).

Os complexos alcalino-carbonatíticos incluem frequentemente uma grande diversidade de recursos minerais metálicos interessantes do ponto de vista económico. Os depósitos minerais relacionados com estes complexos apresentam como minerais acessórios magnetite (e outros óxidos - hidróxidos de Fe), apatite, flogopite, anfíbulas, piroxenas e pirocloros, e estão frequentemente associados a rochas muito particulares como foscoritos, glimeritos, fenitos e a solos lateríticos. As jazidas alcalino-carbonatíticas hospedam normalmente mineralizações significativas de Fe, Ti, Nb (\pm Ta), ETR, Ba, P e Cu (Guilbert & Park, 1986). A classificação dos depósitos minerais associados a actividades alcalino-carbonatíticas foi abordada por um vasto número de autores, dos quais se destacam Biondi (1986) e Mariano (1989) por realizarem trabalhos abrangentes à escala mundial, embora ambíguos e omissos em relação à representatividade dos complexos angolanos. Esta imprecisão motivou Lapido Loureiro (1995) a formular uma especificação completa, desde depósitos intra- e tardi-magmáticos a depósitos relacionados com processos metassomáticos e supergénicos (eluviais e coluviais).

II.2. Complexos Carbonatíticos em Angola

Os terrenos de Angola sofreram um conjunto de processos evolutivos durante vários ciclos orogénicos, não só durante o Pré-Câmbrico, mas também no Paleozóico Superior e no Meso-Cenozóico. No decurso da actividade meso-cenozóica (em particular na passagem Cretácico Inferior-Cretácico Superior), os processos tectono-magmáticos que afectaram a plataforma africana permitiram a instalação de várias províncias carbonatíticas, quimberlíticas e de várias outras rochas alcalinas e ultrabásicas. Estes corpos inserem-se preferencialmente na estrutura transcontinental de Lucapa, que consiste num *rift* de idade cretácica alinhado segundo uma direcção NE-SW ao longo do território de Angola (Beleque, 2010). A principal causa da distribuição dos complexos carbonatíticos nas duas margens do Atlântico Sul prende-se com os processos de abertura do oceano Atlântico (*ca.* 130-140 M.a.), associados à fragmentação continental. O magmatismo alcalino que se instalou nestas zonas de instabilidade crustal é responsável pela formação da província Paraná-Angola-Namíbia (PAN), na qual se insere a mega-província carbonatítica Brasil-Angola; esta é caracterizada pela semelhança entre as suas litologias constituintes, por ser metalogeneticamente homogénea nas suas mineralizações e por ser geográfico-geocronologicamente coerente (Lapido Loureiro, 1995).

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

A mega-província Brasil-Angola compreende 94 sistemas alcalino-carbonatíticos, onde se distinguem várias subunidades, tanto no Brasil (Alto Araguaia, Alto Paranaíba, Rio de Janeiro-Litoral de São Paulo, Sudeste e Sul), como em Angola (Zenza do Itombe, Lucala-Cacuso, Quanza Sul-Benguela, Diagonal Transangolana e Morro Vermelho-Cuíto). Do ponto de vista petrográfico, os complexos alcalino-carbonatíticos angolanos são félsicos com carácter miásctico ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3 < 1$), não apresentando qualquer relação directa entre a actividade ígnea carbonatítica e a básica-ultrabásica, enquanto as rochas equivalentes brasileiras se encontram associadas a rochas plutónicas ultramáficas (Figura II.2.) (Lapido Loureiro, 1995).

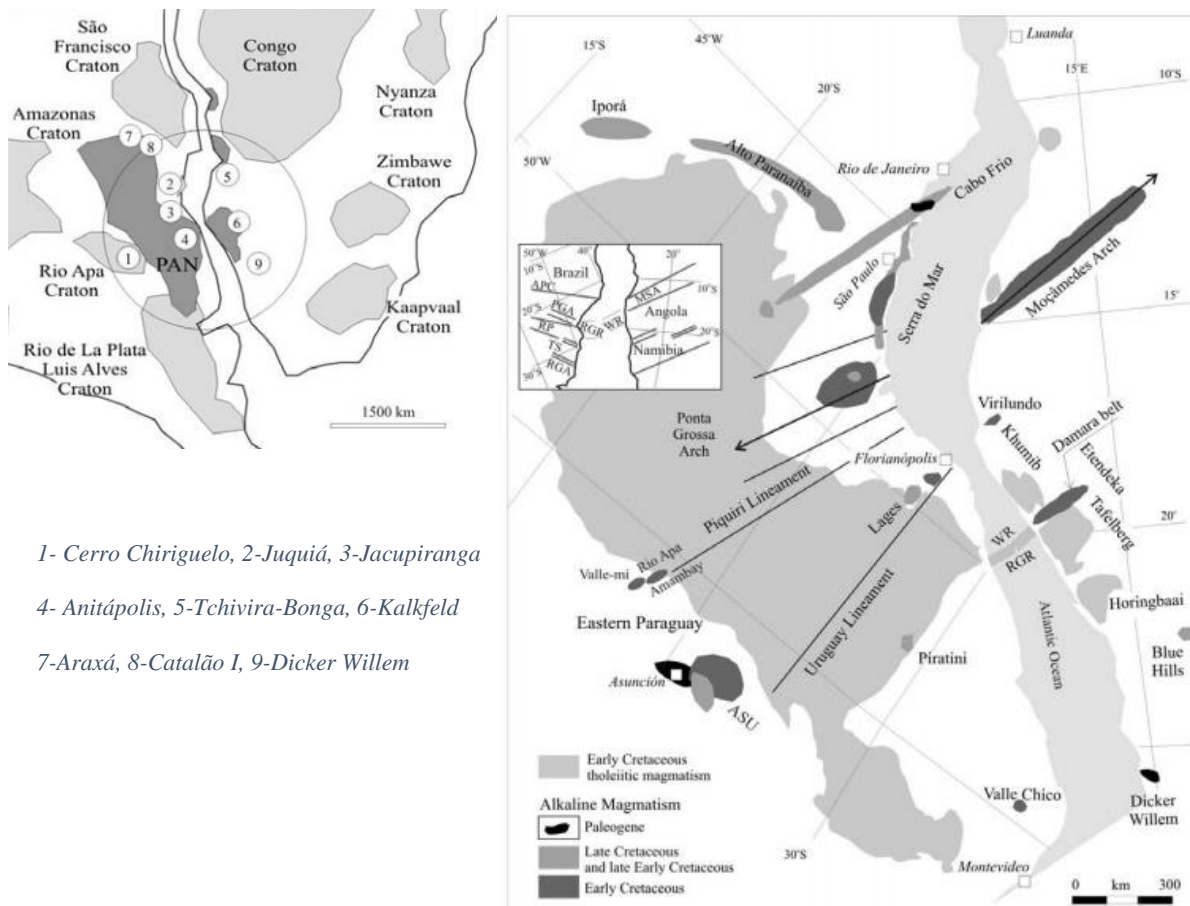


Figura II.2 - Distribuição dos complexos alcalino-carbonatíticos na província Paraná-Angola-Namíbia (adaptado de [Comin-Chiaramonti et al., 2007](#)).

Actualmente são conhecidas 45 ocorrências alcalino-carbonatíticas em Angola, que se instalaram durante os eventos de *rifting* intra-continental sucedido no cratão do Congo; com estrutura sub-intrusiva e morfologia sub-circular, a sua distribuição acompanha dois alinhamentos tectónicos intra-continentais ao longo do país, com direcções NE-SW e NW-SE, activos desde o Cretácico Inferior (130-138 M.a.). Estas unidades localizam-se preferencialmente em Morro Vermelho e na Diagonal Transangolana, sendo esta última a mais relevante não só pela densidade e dimensão dos complexos alcalino-carbonatíticos que hospeda, mas também pela grande extensão e continuidade do alinhamento das estruturas geológicas e pela importância dos recursos minerais associados (Lapido Loureiro, 1995).

Os principais complexos alcalino-carbonatíticos angolanos estão distribuídos em três regiões principais:

- **Zona Centro-Oeste** (ex: Catanda);
- **Zona Centro** (ex: Monte-Verde-Sulima, Bailundo, Capuía, Coola, Longonjo, Tchivira-Bonga);
- **Zona Sudoeste** (ex: Virulundo, Lupongola).

Embora não exista informação geocronológica para os complexos anelares angolanos, estes são inseridos no conjunto de intrusões sienítico-traquíticas e carbonatíticas $[\xi-\phi]$ e $[\theta-\omega]$ que se alinham segundo uma direcção geral NE-SW e que marcam a importante actividade magmática que decorreu durante o Albiano (Cretácico Inferior). Estes corpos intersectam e alteram metassomáticamente um conjunto de formações geológicas pré-câmblicas, nomeadamente os metassedimentos do Grupo Superior $[Ar_1^2]$, os corpos graníticos yAR_2 (ambos do Arcaico) e sequências sedimentares, como as que integram o grupo Oendolongo $[PR_1-on]$ e granitóides yPR_1 (do Proterozóico) (Araújo & Guimarães, 1992).

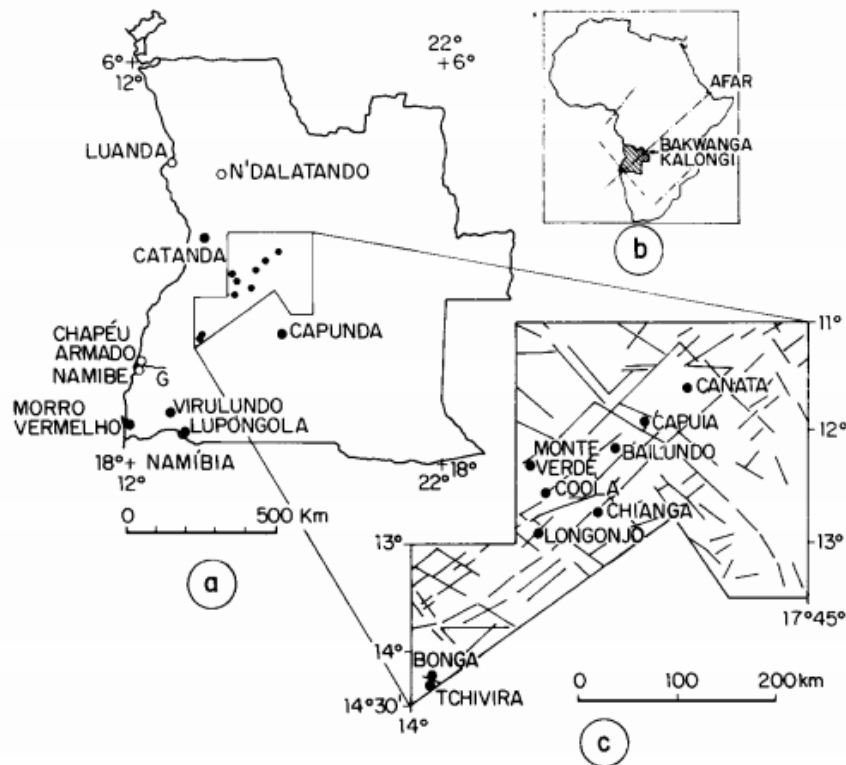


Figura II.3 - a) Localização geográfica e enquadramento tectónico dos principais complexos carbonatitos angolanos; b) Localização de Angola em África, com megalineações tectónicas; c) Localização dos complexos carbonatíticos na Diagonal Transangolana (retirado de Issa Filho et al., 1991).

II.3. Complexo Alcalino-Carbonatítico do Bailundo

O complexo alcalino-carbonatítico do Bailundo (CCB) localiza-se no centro de Angola, na região de Mungo, encontrando-se 11km a NE da povoação do Bailundo e aproximadamente 100km a NNE de Huambo; este complexo insere-se na folha 232 do mapa topográfico de Angola, à escala 1:100 000, nas coordenadas $12^{\circ}09'S$ - $15^{\circ}57'E$. O CCB corresponde a um corpo intrusivo com morfologia anelar com cerca de 7 km de diâmetro e 38.5 km^2 de área (Figura II.4), enquadrado na Diagonal Transangolana, na Província Alcalino-Carbonatítica de Angola.

O domínio central do CCB corresponde ao Morro Belém (que atinge 1805m de altitude) e é constituído por dois tipos de rochas carbonatíticas: i) um núcleo ferro-carbonatítico rico em magnetite (e produtos derivados da sua alteração/oxidação), bordejado por ii) um anel sovítico (cálcio-carbonatítico). O anel periférico ao domínio central é constituído por colinas sobre-elevadas com altitudes compreendidas entre 1650 e 1818 m, que se destacam de uma paleo-superfície de aplanagem com altitude média de 1550m, coberta por depósitos coluvionares – eluvionares (com espessura $\leq 15\text{m}$) ricos em fases minerais com interesse económico, nomeadamente óxidos-hidróxidos de Fe. O substrato das colinas periféricas do complexo é composto por rochas feníticas (frequentemente silicificadas), resultantes da alteração dos granitos encaixantes por vários processos de intenso metassomatismo (Figura II.4). Inicialmente, em estudos efectuados no CCB por Machado (1958), consideraram-se os fenitos como rochas sieníticas primárias; mais tarde, a observação de campo e a caracterização petrográfica detalhada por Lapido Loureiro levaram à conclusão que as rochas de composição sienítica do anel são, efectivamente, metassomatitos (fenitos feldspáticos ou feldspático-piroxénicos) resultantes da alteração dos granitos encaixantes devido à circulação (difusa ou concentrada) de fluidos alcalinos derivados da intrusão carbonatítica (presumivelmente ricos em fases voláteis como CO_2 , H_2O e F), que percolaram, em níveis superficiais ou profundos, em fendas ou fracturas. A rede hidrográfica é anelar-centrífuga, e existem duas nascentes permanentes, a NW e NE (Lapido Loureiro, 1995).

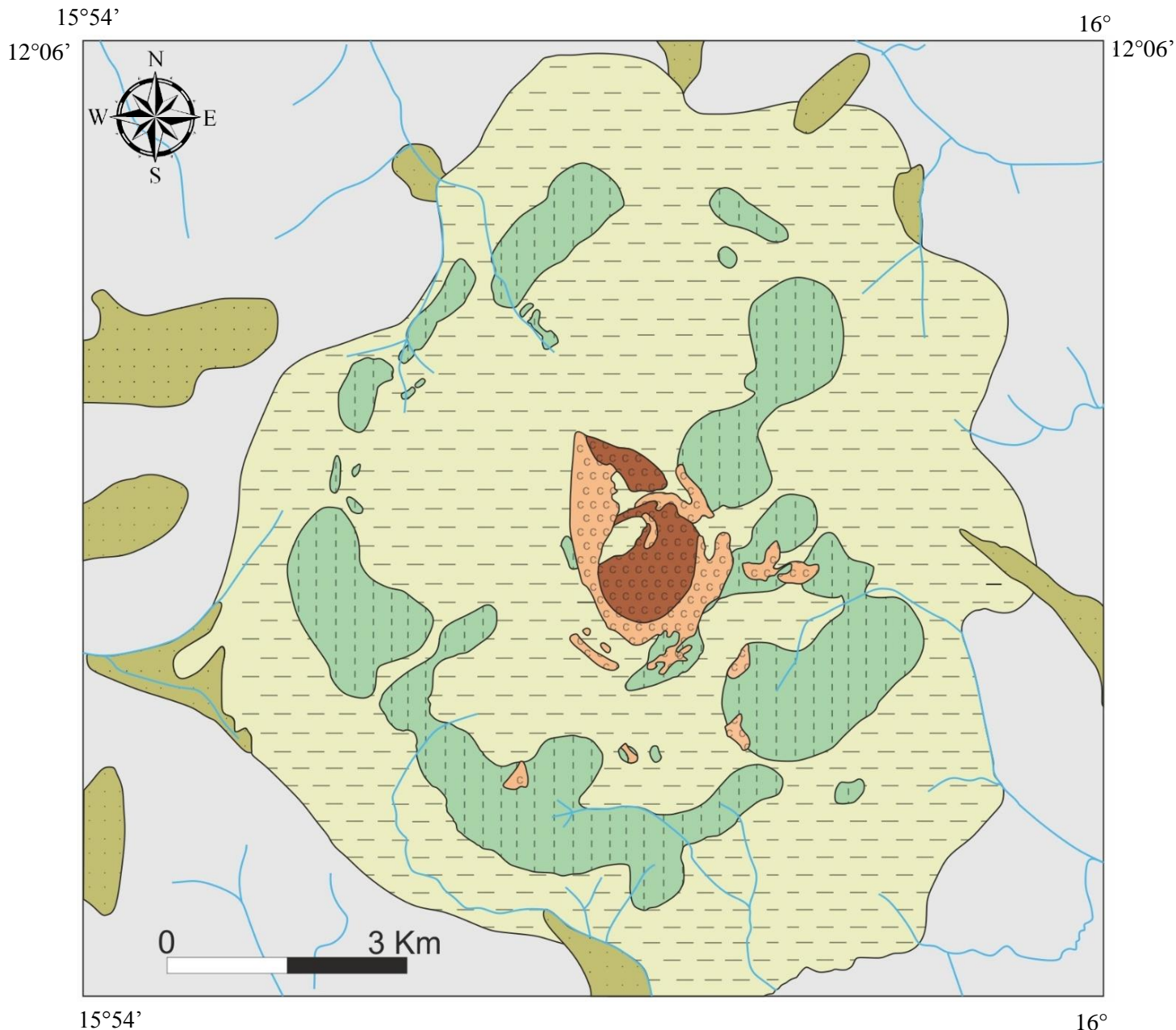
É necessário referir que os complexos carbonatíticos angolanos apresentam, geralmente, baixos teores em sílica; contudo, os processos de silicificação que dão origem a carbonatitos ou a brechas carbonatíticas silicificadas são frequentes e intensos, principalmente no CCB (Lapido Loureiro, 1995). É possível atribuir três origens para esta sílica:

- **Primária:** sob a forma de quartzo primário, alojado intrinsecamente nos cálcio-carbonatitos e associado geralmente a minerais portadores de ETR.
- **Metassomática:** ocorre substituição dos carbonatos por sílica, derivada da contaminação durante a ascensão de fluidos tardi-magmáticos ou da dessilicificação das rochas encaixantes, associada aos processos de fenitização dos granitos encaixantes.
- **Supergénica:** embora em casos mais restritos e com menor intensidade, a remobilização supergénica de sílica pode concorrer para processos de silicificação em carbonatitos.

O CCB foi cenário de vários trabalhos de prospecção e pesquisa, assim como de estudos de tratamento e beneficiação de minério de Fe durante a década de 1960', que cessaram no início dos anos 1970'. A actividade mineira neste local foi realizada após avaliações preliminares dos depósitos superficiais e do carbonatito central. Estas avaliações revelaram, além da grande quantidade de magnetite (*s.l.*), que foi explorada, quantidades significativas de minerais acessórios portadores de metais com interesse económico.

Estudos focados nos minerais portadores de ETR inferem a presença de óxidos (cerianite), fosfatos (minerais do grupo da rabdofanite) e flúor-carbonatos (parisite e bastnäsita) com potencial para exploração, assim como quantidades apreciáveis de pirocloro, apatite e barite, embora com teores mais baixos (Beleque, 2010; Lapido Loureiro, 1995). É expectável que o teor em metais como o Nb, P e Ba (componentes principais de pirocloro, apatite e barite, respectivamente) apresente uma relevância significativa em termos económicos, com capacidade para subproduto, coproduto ou produto principal, mas até à data não se registam estudos de detalhe para avaliação destas matérias-primas.

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos



Legenda:







	Ferro-Carbonatito		Complexo de Fenitização
	Cálcio-Carbonatito		Depósitos de Cobertura (areias graníticas)
	Lateritos		Depósitos de Vertente

Figura II.4.a - Mapa geológico do Complexo Carbonatítico do Bailundo (adaptado de Lapido Loureiro, 1995).

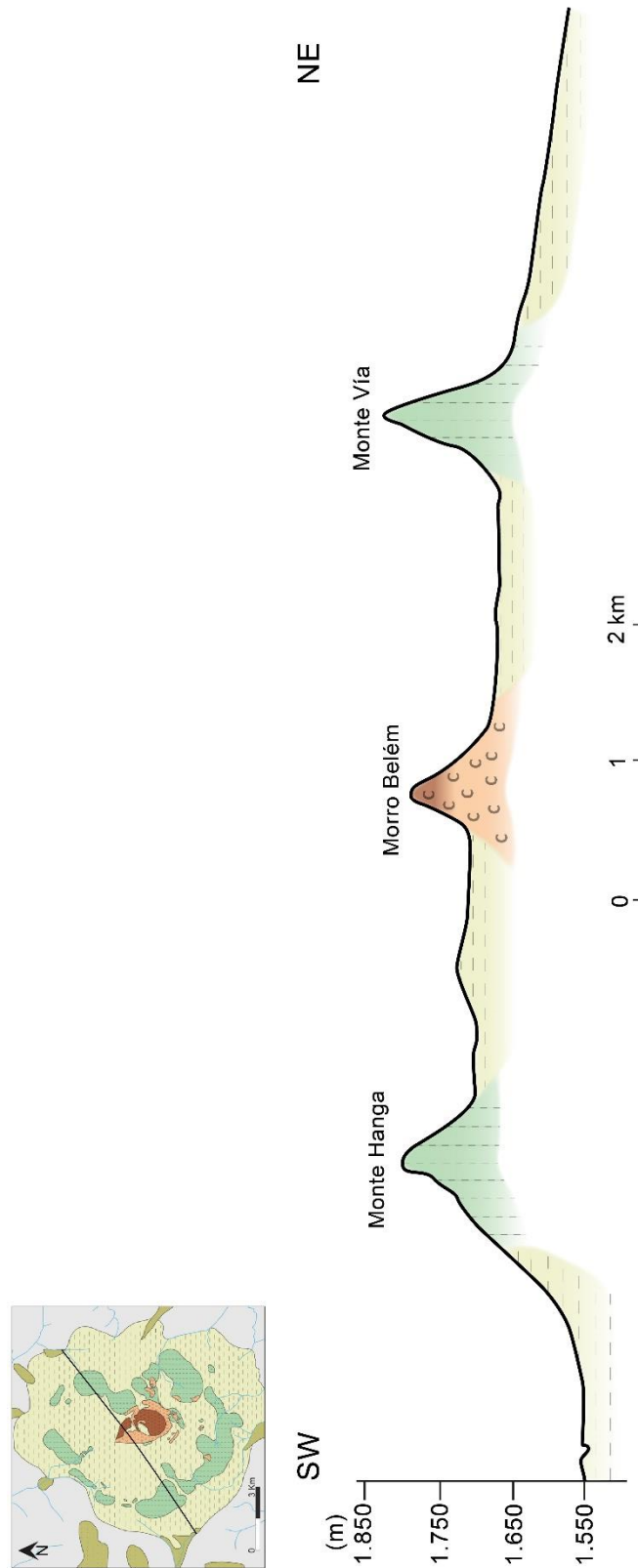


Figura II.4.b - Perfil topográfico SW-NE do Complexo Carbonatítico do Bailundo, adaptado de Lapido Loureiro (1995); a legenda geológica encontra-se na Figura II.4.a.

III. Metodologias

Para responder aos objectivos essenciais desta tese, foi realizado um estudo petrográfico preliminar de várias amostras das rochas carbonatíticas do CCB, nas quais vários pirocloros foram selecionados para análise pontual por microsonda electrónica. As amostras estudadas foram colhidas durante uma campanha de amostragem para litogeoquímica e de uma sondagem subvertical (BLS-1) efectuada no núcleo ferro-carbonatítico, realizadas no CCB (na concessão do Mungo) pela empresa Genius Mineira Lda., no decorrer dos anos 2008/09 e 2010. As amostras de superfície estão referenciadas como BLP-1-81, e as amostras BLS e B-1-36 são representativas da sondagem (correspondendo a profundidades entre 34.45 e 601.20m).

III.1. Estudo Petrográfico

A caracterização petrográfica das amostras foi realizada com a finalidade de identificar a mineralogia das rochas portadoras de minerais do grupo do pirocloro e de verificar a variabilidade das propriedades ópticas e morfológicas do pirocloro, assim como a sua abundância relativa nas diversas fácies do CCB. Os pirocloros analisados por microsonda electrónica foram discriminados com base no zonamento e morfologia dos grãos e nos modos de ocorrência (diferente tipo de rocha hospedeira, intensidade de fenitização das rochas granitoides hospedeiras, grau de alteração, entre outros critérios petrológicos). A descrição petrográfica sumária das amostras observadas encontra-se no Capítulo V.

III.2. Análise por Microsonda Electrónica (MSE)

A análise química pontual dos diferentes pirocloros por microsonda electrónica foi efectuada para complementar o estudo petrográfico realizado, de modo a compreender a variabilidade composicional destes minerais; a observação de texturas complexas (primárias ou resultantes de reacções de alteração) não observáveis ao microscópio petrográfico foi também possível dada a elevada resolução das imagens obtidas por electrões retro-difundidos em regiões de dimensões microscópicas. Para estes estudos foi utilizada a microsonda electrónica *JEOL JXA 8200* do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

III.2.1 Fundamentos e Correções

Na microsonda electrónica a amostra é bombardeada com um feixe de electrões, ocorrendo dispersão elástica e não elástica dos mesmos. A dispersão não elástica produz raios-X característicos e uma banda de radiação-X contínua a partir do volume analisado. As intensidades dos raios-X característicos de cada elemento são medidas na amostra e comparadas com as intensidades medidas em padrões de composição conhecida, determinada por método independente; esta relação entre intensidades é denominada factor k . Assim, é tomada a intensidade máxima registada no pico analítico (P) de um elemento dado, descontado o fundo (B), e calculando o factor: $k = (P - B)_{amostra} / (P - B)_{padrão}$, obtendo-se a primeira estimativa da concentração de um elemento da amostra (Reed, 1975).

É necessário também corrigir estes valores preliminares levando em conta os diversos processos que ocorrem nos volumes da amostra e do padrão. No volume analisado, os electrões perdem progressivamente energia e são parcialmente difundidos. Estes processos de perda de energia e de retrodifusão são contabilizados no factor Z (correção do número atómico). Os raios-X gerados no volume analisado são absorvidos por todos os componentes da amostra, mas em graus diferentes, e em todas as direcções de propagação. A intensidade da radiação emitida pela amostra é medida por detectores diferentes, dependendo do seu comprimento de onda. A absorção dos raios-X ao longo do trajecto até ao detector depende do

comprimento desse percurso e da composição da amostra, exigindo correcção da intensidade medida para ser obtida a intensidade inicial. Esta correcção da absorção dos raios-X ao longo do trajecto na amostra é designada por A. Adicionalmente, os raios-X gerados por cada elemento, com energia superior à energia crítica de excitação de um outro elemento, podem produzir fluorescência dos raios-X do segundo elemento e acentuar a intensidade dos raios-X deste em relação ao primeiro. A contribuição adicional devida a radiação-X secundária (fluorescência) é designada por F. Os parâmetros para Z, A e F são usados tipicamente numa forma multiplicativa "correcção ZAF". Assim, a concentração de cada elemento na amostra é dada através da equação $C = k \times ZAF$ (Reed, 1975).

A qualidade das análises realizadas depende da qualidade da preparação das lâminas, da natureza da amostra e da disponibilidade de padrões adequados para os elementos a analisar.

III.2.2 Condições Analíticas

As lâminas polidas das amostras a analisar são revestidas de grafite, antes de serem sujeitas ao feixe electrónico, de modo a que a superfície irradiada se torne condutora da corrente a que vai ser submetida. Este revestimento é necessário porque, sendo as análises em MSE executadas em condições de alto vácuo, ou seja, a pressões de vapor muito baixas, é imprescindível que o material da amostra seja estável a temperaturas consideráveis, sob a incidência do feixe de electrões. A análise dos pirocloros das rochas do CCB por MSE foi efectuada nas seguintes condições:

Corrente e aceleração do feixe electrónico:	1nA, 15 kV
Diâmetro do feixe electrónico:	5µm
Tempos de leitura:	20s (no pico analítico), 5s (no fundo)

Tabela III. 1- Condições de análises e padrões certificados utilizados na análise dos pirocloros.

Elemento	Risca Analítica	Cristais Analisadores	Padrões	Elemento	Risca Analítica	Cristais Analisadores	Padrões
Ce	La	LIF	Monazite	Lu	La	LIF	REE 2
F	Ka	TAP	Apatite	Si	Ka	TAP	Diópsido
Nb	La	PETJ	LiNbO3	Ba	La	PETJ	Benitoite
V	Ka	LIFH	V	Th	Ma	PETH	Monazite
Nd	La	LIF	REE 6	Ho	La	LIF	REE 4
Na	Ka	TAP	Jadeite	Sr	La	TAP	Celestite
S	Ka	PETJ	Estibnite	Ti	Ka	PETJ	Benitoite
Pb	Ma	PETH	Galena	U	Ma	PETH	UO ₂
Gd	La	LIF	REE 1	Ta	La	LIF	LiTaO ₃
Mg	Ka	TAP	Piropo	Y	La	TAP	Zircónia
Cl	Ka	PETJ	Tugtupite	La	La	PETJ	Monazite
Pr	Lb	LIFH	Monazite	K	Ka	PETH	Sanidina
Dy	Lb	LIF	REE 4	Tb	La	LIF	REE 1
As	La	TAP	Arseneto de Ga	P	Ka	TAP	Apatite
Pa	Ma	PETJ	Cal-STD	Mn	Ka	PETJ	Bustamite
Sm	La	LIFH	REE 2	Fe	Ka	LIFH	Almandina
Yb	La	LIF	REE 2	Hf	La	LIF	m32
Al	Ka	TAP	Almandina	Zr	La	TAP	Zircónia
Ca	Ka	PETJ	Diópsido	Tm	La	LIF	REE 1
Eu	La	LIFH	REE 1	Er	La	LIFH	REE 4

IV. Supergrupo do Pirocloro

Os minerais do supergrupo do pirocloro são definidos como óxidos que cristalizam no sistema isométrico, com simetria $Fd\bar{3}m$, exibindo uma célula unitária com $a = 10.4 \text{ \AA}$ e $Z = 8$ (Rouse *et al.*, 1998); estes minerais obedecem à fórmula geral $A_{2-m}B_2X_{6-w}Y_{1-n}$, em que A e B correspondem às posições catiónicas e X e Y correspondem às posições aniónicas, e os símbolos m , w e n representam parâmetros que indicam as lacunas possíveis na ocupação das diferentes posições estruturais A , X e Y (Atencio *et al.*, 2010).

Os catiões presentes na posição A (Na^+ , Ca^{2+} , Ag , Mn , Sr , Ba , Fe^{2+} , Pb^{2+} , Sn^{2+} , Sb^{3+} , Bi^{3+} , Y , ETR , Sc , U e Th), localizados no centro de um escalenoedro, caracterizam-se por ter número de coordenação 8 e raios iónicos entre 0.87 e 1.74 \AA ; estes catiões ligam-se, normalmente, a seis aniões X e a dois aniões Y . Esta posição estrutural pode apresentar lacunas (\square) ou mesmo moléculas de H_2O .

Os catiões presentes na posição octaédrica B (Nb^{5+} , Ta^{5+} , Ti^{4+} , Sb^{5+} , W^{6+} , V^{5+} , Sn^{4+} , Zr , Hf , Fe^{3+} , Mg , Al e Si), localizados no centro de um octaedro, apresentam número de coordenação 6 e raios iónicos entre 0.4 e 0.78 \AA (Subramanian *et al.*, 1983).

Em relação às disposições aniónicas, a posição X é tipicamente ocupada por O (tendo capacidade de incluir quantidades subordinadas de OH e F), enquanto a posição Y pode ser ocupada não só por aniões (O , OH^- e F), mas também por catiões monovalentes de grande raio iónico ($\gg 1 \text{ \AA}$: K , Cs , Rb) ou mesmo por moléculas de H_2O e pode ocasionalmente conter lacunas (\square) (Henderson *et al.*, 2007; Atencio *et al.*, 2010).

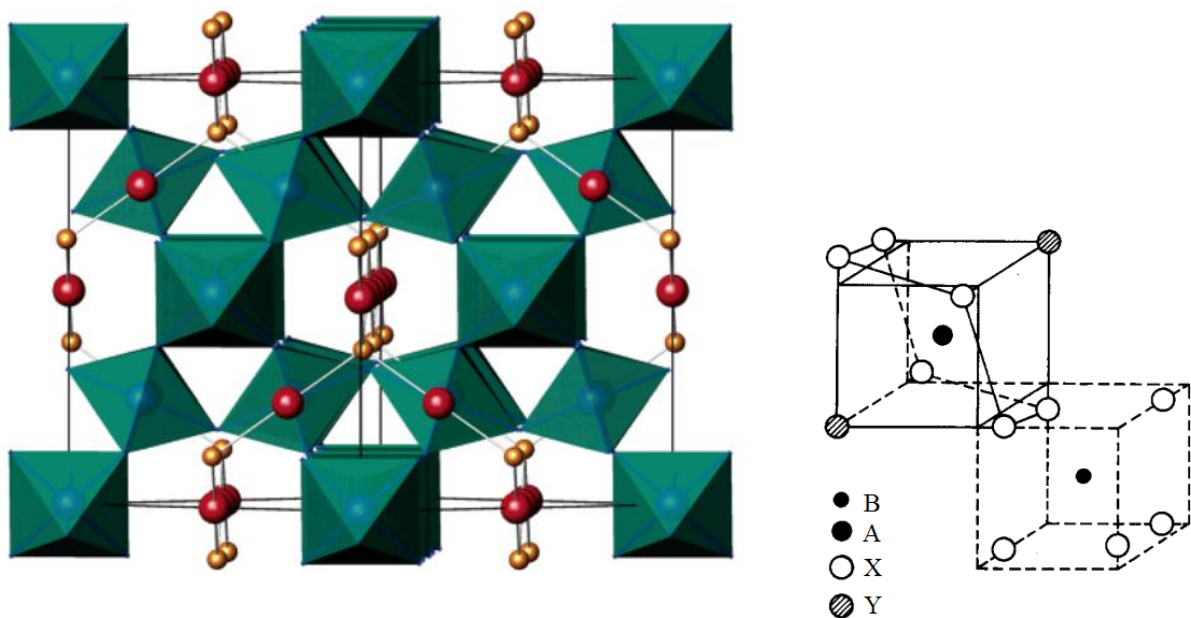


Figura IV.1- Estrutura cristalina ideal do pirocloro, em que A está representado a vermelho, Y a laranja e BO_6 nos octaedros verdes (retirado de Henderson *et al.*, 2007; Subramanian *et al.*, 1983).

Estes minerais são de origem magmática, e, quando sujeitos a efeitos metassomáticos (tardi-magmáticos) e supergénicos, a sua estrutura revela-se extremamente resistente, variando apenas a sua composição. Ocorrem maioritariamente em complexos carbonatíticos, sienitos nefelínicos, granitos-pegmatitos e em rochas magmáticas/metassomáticas associadas ou resultantes da alteração destas litologias, como *greisens*,

foscoritos, glimeritos e lateritos; tipicamente, as associações minerais que incluem pirocloros apresentam zircão, apatite, aegirina, columbite, tantalite, perovskite e ferberite (Hogarth, 1977).

Morfologicamente os cristais de pirocloro são geralmente euédricos (octaedros) de cor amarelada ou acastanhada e brilho vítreo a resinoso; no microscópio óptico este mineral apresenta uma fraca anisotropia anômala, sendo translúcido. Quimicamente, os pirocloros podem apresentar ainda evidências de metamictização, devida à emissão de partículas- α pelos seus componentes radioactivos (U e Th), que degrada progressivamente a estrutura cristalina do pirocloro (e dos minerais adjacentes) até à sua transformação num mineraloide amorfo (Hogarth, 2000), que então se torna opaco em microscópio petrográfico. Os minerais afectados por metamictização podem recuperar a sua estrutura cristalina original, por aquecimento.

IV.1. Nomenclatura

Recentemente foi adoptada uma nova classificação para as diferentes variedades de pirocloro (*s.l.*) com base no catião dominante na posição **B**, considerando-se os seguintes grupos: grupo do pirocloro (Nb^{5+}), grupo da microlite (Ta^{5+}), grupo da betafite (Ti^{4+}), grupo da roméite (Sb^{5+}) e grupo da elsmoreíte (W^{6+}). Este sistema de nomenclatura, proposto por Atencio *et al.* (2010) e aprovado pela CNMNC (*Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification*), permite ainda categorizar os minerais dos diferentes grupos de acordo com a fase elementar de valência dominante nas posições **A** e **Y**, evidenciando a enorme variabilidade composicional do pirocloro. Assim, Atencio *et al.* (2010) propõem um novo método de nomenclatura para classificar as diferentes espécies de minerais do supergrupo do pirocloro baseando-se no sistema **y-a-raíz**, em que **raíz** é o nome do grupo (de acordo com a proporção atómica dos elementos presentes na posição **B**) e **y** e **a** indicam o anião e o catião dominantes nas posições **Y** e **A**, respectivamente. Deste modo, os vários minerais pertencentes ao supergrupo do pirocloro classificam-se das seguintes maneiras:

Tabela IV.1- Matriz sumária da terminologia dos diferentes minerais do supergrupo do pirocloro, exemplificando apenas os catiões mais comuns da posição A, de acordo com Atencio et al. (2010).

y		a		raíz
O	oxi-	Na	-natro-	-pirocloro
OH	hidroxi-	Ca	-cálcio-	-microlite
F	flúor-	U	-urano-	- betafite
H₂O	hidro-	Pb	-plumbo-	- roméite
□	keno-	Ba	-bário-	-elsmoreíte

Os minerais dos grupos do pirocloro, da microlite e da betafite são relativamente comuns, tendo uma distribuição global moderadamente dispersa, enquanto os minerais dos grupos da roméite e da elsmoreíte são bastante mais raros. As principais ocorrências de minerais do grupo do pirocloro encontram-se na Escandinávia (Noruega, Suécia e Finlândia), Alemanha, Rússia, Canadá, Gronelândia, Brasil, Angola, República Democrática do Congo (RDC), Tanzânia e Austrália. A microlite ocorre como mineral primário em pegmatitos portadores de Li ou a substituir minerais de Ta, surgindo nos Estados Unidos da América (EUA), Brasil, RDC, Brasil e Austrália. A betafite hospeda-se normalmente em pegmatitos (sendo rara em

rochas carbonatíticas) e as suas maiores concentrações localizam-se em Madagáscar e nos EUA. Relativamente aos minerais do grupo da roméite, estes manifestam-se como minerais secundários em depósitos hidrotermais portadores de Mn e as suas principais ocorrências encontram-se em Itália, EUA e Malásia. A elsmoreíte é o único grupo que contém apenas uma espécie mineral, resultando da oxidação da ferberite em zonas oxidadas de diques pegmatíticos associados a veios pegmatíticos greisenizados hospedeiros de mineralizações de Sn, W, Mo e Bi; as principais ocorrências encontram-se na Austrália.

Em Portugal encontram-se minerais do grupo do pirocloro associados a sienitos nefelínicos do Vulcão Água de Pau na ilha de S. Miguel (Açores) (Widom *et al.*, 1993), minerais do grupo da microlite em pegmatitos de Muro Alto em Vieira do Minho (Braga) (Dias *et al.*, 2009) e em pegmatitos de Gonçalo-Seixo Amarelo (Guarda) (Ramos, 2007) e elsmoreíte nos filões de quartzo da mina da Borralha, em Vila Real (Bernard & Hyrsl, 2004). Apesar de serem conhecidas várias ocorrências, a informação sobre os minerais do supergrupo do pirocloro em Portugal é bastante escassa; apesar da diversidade de litologias onde se inserem, toda a literatura disponível relata as ocorrências de pirocloro (*s.l.*) como mineralogia acessória incomum e rara, daí não terem merecido, até à data, estudo mais detalhado.

IV.2. Zonamento e Alteração

A difusão de elementos químicos durante os processos de cristalização é o principal mecanismo responsável pela distribuição não aleatória dos constituintes dos minerais deste supergrupo e, consequentemente, do seu zonamento interno incomum. Esta textura reflecte a incapacidade destes minerais se manterem em equilíbrio químico com o magma, como acontece tipicamente nos cristais de pirocloro, onde se observa frequentemente um zonamento concêntrico do núcleo para a periferia. Estes comportamentos variam em função de factores como o fluxo térmico e a presença e natureza de fluidos associados à cristalização, que catalizam os processos de difusão intra-cristalina. Normalmente, os grãos de pirocloro que exibam uma oscilação química acentuada representam o desequilíbrio do sistema em condições de arrefecimento serenas; em casos de turbulência magmática, os cristais não apresentam um zonamento pronunciado (Hogarth *et al.*, 2000).

Após a sua formação, o mineral fica exposto a vários processos, tanto endógenos (efeitos tardi-magmáticos ou metassomatismo hipogénico) como exógenos (meteorização ou outras alterações supergénicas), que o sujeitam a reajustamentos composicionais, registados em texturas secundárias mais complexas. Embora se reconheçam indícios de efeitos da alteração secundária, os padrões de zonamento primário persistem ao longo dos episódios metassomáticos de alta temperatura ou de metamictização. Em condições de baixa temperatura, a alteração destas texturas é observada através da substituição dos padrões de zonamento primário (nos bordos do mineral) por padrões de alteração, ou em fracturas preenchidas por pirocloro secundário (Hogarth *et al.*, 2000). Assim, os diferentes padrões de zonamento e alteração em minerais do supergrupo do pirocloro podem ser distinguidos em:

- **Zonamento primário:** a composição química do cristal mantém-se inalterada, ou varia sistematicamente do centro para o bordo do grão.
- **Alteração de baixa temperatura** (incluindo efeitos de meteorização): observam-se zonas de espessura irregular com material descorado na margem do mineral, zonas lixiviadas em microfracturas e manchas de corrosão no interior do cristal. Em termos composicionais, ocorre lixiviação de Na e F (e menos frequentemente de Ca), substituição de Ca^{2+} por Sr^{2+} , K^{+} e Ba^{2+} , deficiência em iões nas posições *A* e *Y* e hidratação.

- **Efeitos de metamictização:** observa-se, para além das mesmas características típicas da alteração de baixa temperatura, fendas de dessecação sinuosas e marcas curvas e concêntricas associadas à expansão e formação do mineralóide. A metamictização implica geralmente lixiviação de Na e Ca, criação de lacunas nas posições A e Y e hidratação.

IV.3. Economia Mineral

Os minerais dos grupos do pirocloro, da microlite e da betafite, têm uma importância considerável como vectores de prospecção, uma vez que podem ser utilizados para assinalar mineralizações de Nb, Ta e U com interesse económico significativo; os outros dois grupos (roméite e elsmoreíte) ocorrem em quantidades pouco apreciáveis e não são relevantes neste sub-capítulo. É de referir ainda que, embora os minerais do grupo da betafite contenham Ti como catião dominante, estes não constituem indicadores de mineralizações economicamente rentáveis desse metal uma vez que raramente se associam aos seus principais minérios (ilmenite e rútilo).

Os três metais referidos são matérias-primas minerais cotadas em bolsa e consistem na base de uma cadeia de processos de transformação que resultam em produtos convenientes ao bem-estar social ou, no caso do U, na principal fonte de energia nuclear.

IV.3.1. Nióbio

O Nb é uma matéria-prima mineral com um risco considerável no seu abastecimento primário e baixas taxas de reciclagem, sendo pouco substituível; este metal contribui para o desenvolvimento de várias tecnologias emergentes, sendo assim expectável que a sua procura nos mercados se mantenha elevada. Com uma baixa abundância média crustal ($\approx 8\text{ppm}$), o seu teor de corte ideal é de 0.4% Nb_2O_5 (de acordo com dados recentes, embora variável com as leis de mercado), sendo comercializado sob a forma de pentóxido de nióbio (Nb_2O_5), carbureto de nióbio (NbC), ligas de ferro-nióbio (FeNb) e de niobato de lítio (LiNbO_3); os principais minérios de Nb são os minerais do grupo do pirocloro e minerais do grupo da columbite.

Aproximadamente 83% do Nb produzido é utilizado na indústria do aço para criar ligas metálicas com o ferro do tipo HSLA (*high-strength low-alloy*), nomeadamente ferrite-pearlite, uma vez que reforça não só as propriedades mecânicas (dureza e robustez) do aço, mas também a resistência à corrosão e às altas temperaturas; é considerado o melhor metal para o fabrico destas super-ligas devido às suas competências como refinador de grãos e endurecedor por precipitação. Estas ligas HSLA de ferro-nióbio são aplicadas à construção civil para a edificação de estruturas leves de alta resistência e como barras de reforço, na indústria automóvel para incrementar a eficiência dos combustíveis por redução do peso, e em oleodutos na indústria do petróleo pela sua capacidade de suportar elevadas pressões a grandes distâncias (Miracle, 2001). O Nb é utilizado também no fabrico de micro-condensadores e na produção de outras ligas com o níquel, ferro e cobalto; apesar de estas indústrias consumirem a menor parte do Nb produzido, a finalidade dos produtos tem aplicações em diversas áreas, como por exemplo na construção de motores a jacto, turbinas a gás, turbocompressores e equipamentos de combustão no sector aeroespacial, na manufatura de equipamentos de ressonância magnética na indústria médica, e como carburetos para ferramentas de corte. Existem outras utilizações menores de Nb, como no fabrico de ímanes, de termómetros, como catalisadores ou como condutores e condensadores eléctricos. Estudos recentes indicam ainda que o Nb sob a forma de ácido nióbico pode ter utilidades como catalisador para a conversão de óleo de palmeira em biocombustíveis (Schulz & Papp, 2014).

Actualmente o Brasil é o maior produtor de Nb, com cerca de 92% das reservas mundiais, seguido pelo Canadá que detém apenas 5% das mesmas. A produção doméstica de Nb no Brasil tem aumentado devido ao *boom* do mercado das ligas metálicas consequente do crescimento significativo do Produto Interno Bruto em países asiáticos e do incremento da produção global de aço (Gunn, 2014). As suas principais minas em actividade são Araxá e Catalão I, onde se exploram os complexos alcalino-carbonatíticos ultramáficos pertencentes à província ígnea do Alto Paranaíba. O depósito de Araxá contém aproximadamente 808 milhões de toneladas de minério com cerca de 2.3% de Nb₂O₅ e é explorado pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), enquanto o depósito de Catalão apresenta aproximadamente 58 milhões de toneladas com 1.1% de Nb₂O₅ e é explorado pela Anglo American; em ambos os depósitos, as zonas de exploração localizam-se em solos lateríticos resultantes da alteração supergénica na parte superior dos complexos carbonatíticos (Gunn, 2014).

IV.3.2. Tântalo

O Ta é um metal de transição com baixa abundância média crustal ($\approx 0,7$ ppm), encontrando-se hospedado em minerais do grupo da tantalite e minerais do grupo da microlite. Em geral é comercializado sob a forma de pentóxido de tântalo (Ta₂O₅), carbureto de tântalo (TaC) e de tantalato de lítio (LiTaO₃). O desenvolvimento tecnológico actual permite taxas de reciclagem elevadas e a existência de substitutos para os seus produtos derivados principais baixou o nível de utilidade deste recurso; não obstante este facto, o seu teor de corte ideal actualmente é 0.005% Ta₂O₅.

Este metal apresenta uma eficiência única para armazenar e libertar energia eléctrica, o que lhe confere um elevado interesse na indústria electrónica, que consome cerca de metade da sua produção mundial. Os produtos derivados desta matéria-prima apresentam como principal característica o facto de serem de dimensões reduzidas, podendo assim ser aplicados em tecnologias emergentes como micro-condensadores (por exemplo em telemóveis, aparelhos auditivos e discos rígidos) ou em tecnologia médica no fabrico de pacemakers e aparelhos prostéticos. À semelhança do Nb, o Ta também oferece as propriedades favoráveis ao fabrico de ligas metálicas com o Ni, Co e Fe, aplicáveis à indústria das turbinas de gás, resistentes a altas temperaturas e tensões, assim como no fabrico de ferramentas de corte sob a forma de carburetos de Ta. Esta matéria-prima tem ainda aplicações na indústria automóvel nos sistemas de airbags e em sistemas de anti-bloqueio dos travões, e na indústria militar em sistemas de GPS, sistemas de ignição e sistemas de visão nocturna (Schulz & Papp, 2014).

Historicamente a Austrália foi durante anos o maior produtor mundial de Ta dominando aproximadamente 45% da produção, mas desde 2009 que os maiores produtores são a República Democrática do Congo e o Ruanda, dois países contíguos que exploram a cintura de pegmatitos do tipo LCT de Kibaran maioritariamente em operações mineiras governamentais. A instabilidade social e política destes países é uma preocupação para os consumidores desta matéria-prima, constituindo uma ameaça à sua acessibilidade. Segundo relatórios publicados pelas Nações Unidas, na RDC existem milícias armadas que assumiram controlo de várias operações mineiras artesanais ou que interceptaram carregamentos de concentrados minerais para lucrarem com a produção desta matéria-prima. Assim, considera-se o Ta uma matéria prima mineral conflituosa (grupo de minerais 3TG), juntamente com o Sn, W e Au; as receitas acumuladas por estes grupos armados devido ao contrabando de concentrados de Ta são uma das principais razões da agitação social nesses países. Embora ocorram estas situações em várias províncias da RDC, em regiões menos conflituosas e no Ruanda a produção de concentrados de Ta é suficiente para satisfazer a procura desta matéria-prima por parte dos consumidores (Bleiwas, Papp & Yager, 2015). Embora não seja explorada

actualmente, a microlite, normalmente associada a columbo-tantalites e (em menor quantidade) a tapiolites, em jazigos pegmatíticos LCT, têm interesse económico significativo, uma vez que este conjunto de minerais constitui minério de Ta. Exemplos de jazigos pegmatíticos mineralizados com microlite em quantidades consideráveis são Tanco (Canadá), Volta Grande e São João Del Rei (Brasil) e a cintura pegmatítica de Kibaran (Gunn, 2014).

IV.3.3. Urânio

O U é um constituinte menor da crosta da Terra ($\approx 1,7\text{ppm}$) ligando-se a uma grande variedade de compostos e, em condições favoráveis, podendo constituir acumulações (económicas ou não) em numerosos contextos geológicos; registam-se as concentrações médias são de 0.3 ppm em rochas basálticas, de 3.8ppm em granitos, de 3.7 ppm em xistos, de 2.2 ppm em carbonatos, e concentrações até 300 ppm em rochas fosfatadas (Kyser & Cuney, 2008); na presente data, o teor de corte ideal é de 0.2% U_3O_8 , mas variável com as exigências de mercado.

Do ponto de vista geológico, o U encontra-se essencialmente em complexos de óxidos, sob a forma tetravalente ou hexavalente, dependendo do seu estado de oxidação; o facto de ser um elemento com grande raio iónico faz com que dificilmente se encaixe na estrutura dos silicatos. Os minerais formados por U^{4+} são geralmente de cor negra, sendo a uraninite (UO_{2+x}) o principal mineral deste grupo, em que a pechblenda (variedade colomórfica da uraninite) corresponde ao principal alvo de exploração de minério de U. Os minerais formados por U^{6+} resultam essencialmente da alteração dos minerais primários por acção de águas meteóricas de superfície, sugerindo susceptibilidade de existência de mineralizações primárias de óxidos de urânio em profundidade (Cuney, 2010); exemplos de minerais de urânio hexavalente são os minerais do grupo da autonite $((\text{Cu,Ca,Ba,Mg})(\text{UO}_2)_2(\text{P,As})\text{O}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Uma vez que o U possui um núcleo altamente instável, este tende a progredir para uma situação de maior estabilidade ao longo de uma cadeia de decaimento. No processo de desintegração do núcleo dos isótopos radioactivos do urânio, ocorre emissão de partículas α acompanhada de elevadíssima libertação de energia. Os depósitos de urânio consistem assim, hoje em dia, em importantes fontes de energia para os países dependentes da energia nuclear e têm sido estudados para modelar antigos ambientes climáticos e como análogos naturais para a sequestração geológica de resíduos radioactivos.

Actualmente, o maior produtor de U é o Cazaquistão, com cerca de 36% da produção mundial, seguido do Canadá e a Austrália, sendo estes assim os seus principais produtores, enquanto os restantes se situam em regiões euro-asiáticas e africanas que poderão experimentar períodos de instabilidade política. Apesar de o maior depósito de urânio no mundo se situar em Olympic Dam (Austrália), que faz parte dos depósitos polimetálicos do tipo IOCG (Iron-Oxide-Copper-Gold), o maior produtor a nível mundial é o depósito de McArthur River (Canadá), que hospeda minérios com 10.94% U_3O_8 . Em Rossing (Namíbia), em Ambatofotsy e Miarinarivo (Madagáscar) e em Silver Crater Mine (Canadá), minerais do grupo da betafite com quantidades apreciáveis de U são processados quimicamente de modo a extrair este recurso; estes minerais apresentam uma alteração química e textural, que envolve frequentemente a lixiviação dos cationes presentes na posição A, acoplados de incorporação de água na estrutura. Os processos de alteração do mineral ocorrem em duas fases: uma fase inicial em que os cationes de Ca e Na migram da estrutura para outros minerais, afectando o rácio U:Nb:Ti e destabilizando o mineral; e uma alteração secundária do mineral residual, formando minerais como liandradite (UNb_2O_8), uranopirocloros $((\text{U,Ca})\text{Nb}_2\text{O}_7)$ e rútilo (TiO_2), dependendo da composição elementar inicial. Estes minerais apresentam por norma uma estrutura

amorfa, como resultado da metamictização causada pelo decaimento radiogénico do U (McMaster *et al.*, 2015).

Em 2010 a Comissão Europeia realizou uma análise às matérias-primas minerais para avaliar a sua criticalidade para os países da União Europeia de acordo com a sua disponibilidade, importância económica e riscos de redução do seu abastecimento; consideram-se como principais parâmetros deterministas da criticalidade destas matérias-primas não só a acessibilidade física e custos de exploração e transporte do minério, mas também problemas sociais e políticos dos países produtores que condicionem o acesso a estas matérias-primas, riscos ambientais e os mecanismos de substituíbilidade e reciclagem. Definiram-se numa primeira análise 14 matérias-primas minerais críticas, entre os quais, Nb e Ta. Em 2013 foi realizado um novo estudo, tendo sido adicionados à lista de 2010 mais 6 matérias-primas minerais críticas à UE e maior detalhe na análise de elementos terras raras, separando-os em ETR leves e ETR pesados. O único metal que deixou de ser considerado crítico para a economia da UE desde a primeira avaliação foi o Ta, devido à redução do risco de abastecimento por parte dos países produtores e da baixa procura no mercado (Gunn, 2014; Schulz & Papp, 2014). Assim, é de realçar a importância do conhecimento geológico, em particular na compreensão da dinâmica evolutiva dos minerais do grupo do pirocloro, para os estudos das cadeias produtivas de base mineral.

IV.4. Cálculo da Fórmula Estrutural

As concentrações elementares medidas na microsonda electrónica expressam-se geralmente sob a forma de óxidos, sendo assim necessário tratar estes dados de forma a obter as proporções catiónicas e aniónicas por unidade de fórmula, assumindo, como é habitual na literatura, a ocupação completa de uma das posições estruturais do mineral.

O cálculo da fórmula estrutural do pirocloro é algo complexo porque, como descrito atrás, não só o mineral apresenta duas posições catiónicas distintas (**A** e **B**), mas também duas posições aniónicas bem diferentes (**X** e **Y**) que são normalmente ocupadas por O, F e grupos (OH) em proporções variáveis. O procedimento mais usual considera que a posição catiónica **B** do pirocloro está completamente preenchida, totalizando 2 catiões por fórmula unitária (ocupada por Nb, Ta, Ti, Sb⁵⁺, W, V, Sn⁴⁺, Zr, Hf, Fe³⁺, Mg, Al e Si), sendo assim possível determinar um factor de normalização estequiométrico com esta base catiónica (Atencio *et al.*, 2010; Lumpkin & Ewing, 1995; Hogarth, 1977). Além disso, e porque a microsonda não discrimina o estado de oxidação do Fe e as espécies Fe²⁺ e Fe³⁺ costumam ocupar posições estruturais diferentes (**A** ou **B**, respectivamente), considerou-se todo o ferro analisado como Fe²⁺, à semelhança de outros trabalhos publicados (*e.g.* Lumpkin & Ewing, 1995; Nasraoui & Bilal, 2000; Hogarth, 2000; Zurevinski & Mitchell, 2004; Atencio *et al.*, 2010 e Torró *et al.*, 2012), entrando na posição estrutural **A**. Corroborando esta suposição, também todo o urânio é considerado U⁴⁺, e o cério Ce³⁺ uma vez que são as espécies elementares mais facilmente acomodadas na estrutura do pirocloro (Hogarth, 2000). Uma vez que elementos leves como o O e o H não são analisados por MSE, o método para o cálculo dos aniões na estrutura do pirocloro assume necessariamente algumas condições *a priori*, nomeadamente que o número total de aniões é de 7 por fórmula unitária (*pfu*), ou seja, que não existem vazios estruturais nas posições **X** e **Y**. A diferença entre o número máximo possível de cargas negativas (14) e o número total de cargas negativas obtidas através da análise (que equilibram as cargas catiónicas nas proporções calculadas) corresponde ao número de aniões monovalentes (F⁻ e OH⁻, *pfu*); esse valor é posteriormente subtraído ao número total de cargas e o valor resultante é o total de cargas correspondente a O²⁻. Para obter a proporção de iões OH⁻ *pfu*, subtrai-se ao

número total de aniões monovalentes o valor de F^- medido, cuja proporção é calculada utilizando o factor de normalização aplicado para o cálculo dos catiões.

A composição dos pirocloros estudados e as respectivas fórmulas estruturais assim calculadas encontram-se nas tabelas do Anexo I e Anexo II.

V. Síntese petrográfica

Neste capítulo apresenta-se a caracterização mineralógico-textural abreviada dos diferentes litótipos portadores de pirocloro presentes no CCB. Esta síntese foi complementada por dados retirados em relatórios de petrografia e química mineral efectuados por Beleque (2010), Santos (2010) e Pereira (2011).

As amostras da sondagem incluem essencialmente carbonatitos calcíticos e ocorrências pontuais de glimeritos, enquanto as amostras superficiais incluem ferro-carbonatitos, carbonatitos calcíticos e rochas feníticas.

Geralmente a textura e a diversidade mineralógica que se observam nas diferentes litologias são produto das modificações desencadeadas por processos tardi-magmáticos e metassomáticos, e, subsequentemente, pela meteorização química responsável por carbonatação e silicificação generalizadas.

Os **ferro-carbonatitos** apresentam granularidade bastante heterogénea, destacando-se a abundância em óxidos e hidróxidos de ferro, barite e apatite. A sua componente principal consiste essencialmente em agregados finos de quartzo \pm carbonato (siderite, ankerite/dolomite, ou calcite em sectores de transição para o anel sovítico), podendo esse material ser bastante reduzido nos domínios das espinelas magnetíticas de origem magmática com granularidade grosseira. As espinelas de ferro preservam por vezes efeitos de oxidação intensa, evidenciada pelo desenvolvimento de orlas maghemíticas-hematíticas, por vezes alteradas ou substituídas por goethite. Estas rochas apresentam indícios de processos metassomáticos, intensificados posteriormente por meteorização química, responsáveis pelo desenvolvimento de óxidos (e hidróxidos) de $Fe \pm Mn$ (como goethite e romanechite) no seio de redes anastomosadas de veios e filonetes; estas paragéneseis contêm por vezes minerais invulgares como flúor-carbonatos, fosfatos de ETR, barite e pirocloros secundários. Grande parte dos óxidos deve a sua génese a processos metassomáticos complexos e polifásicos, vulgarmente traduzidos por frentes de reacção (Beleque, 2010; Santos, 2010; Pereira, 2011).

Os **cálcio-carbonatitos** superficiais apresentam uma proporção carbonatada relativamente elevada, maioritariamente de natureza calcítica, sendo por vezes quartzosa ou, mais raramente, ankerítica; além dos minerais carbonatados, estas amostras contêm ainda piroxena, apatite, clorite, magnetite pouco oxidada, pirocloro em abundância e, em menores quantidades, sulfatos (barite) e óxidos e hidróxidos de Fe dispostos ao longo de veios e filonetes. As piroxenas ocorrem sob a forma de disseminações subeuédricas e agregados aciculares, botrioidais e dendríticos, tendo sido identificadas como aegirina-augite (Santos, 2010; Beleque, 2010). A apatite desenvolve-se tardiamente, de um modo disseminado, sendo normalmente euédrica. O pirocloro é uma fase acessória bastante comum, formando disseminações matriciais precoces de grãos grosseiros e subédricos, por vezes muito fragmentados, ou integrando as associações minerais tardias que preenchem fracturas (Beleque, 2010; Santos, 2010; Pereira, 2011). Nestas litologias, os efeitos de metassomatismo estão bem representados em grãos de piroxena, apatite e barite parcialmente substituídos por quartzo, e de clorite parcialmente substituída por calcite; esta substituição de parte dos constituintes do mineral por outros de constituição diferente é a principal evidência dos eventos de alteração a que os cálcio-carbonatitos foram sujeitos.

As amostras de cálcio-carbonatitos correspondentes à sondagem caracterizam-se pela presença de minerais carbonatados de granularidade média a grosseira, acompanhados de fases minerais acessórias como piroxena, olivina, magnetite, mica (flogopites, por vezes cloritizadas) e minerais do grupo do pirocloro. As piroxenas e as apatites ocorrem disseminadas na amostra ou constituem agregados extensos, estando por vezes substituídas por carbonatos secundários. A magnetite apresenta efeitos de oxidação para maghemite e hematite, geralmente intensificada em estádios tardios da evolução do sistema, evidenciados por orlas espessas de hematite e goethite (Pereira, 2011); é possível também identificar pelo menos duas gerações distintas de magnetite, em que a fase precoce é representativa de processos metassomáticos tardios (exibem bordos de corrosão, fracturas preenchidas por calcite e outros aspectos indicativos de instabilidade química) e as fases secundárias ocorrem disseminadas na matriz, com granularidade menor, menos fracturadas e com evidências mais ténues de oxidação. Ocasionalmente, observam-se grãos de olivina e de uma anfíbola (incolor, acicular ou granular) quase sempre pseudomorfizadas por carbonatos secundários de grão fino ou, num caso esporádico, olivina substituída por talco e serpentina; a sílica excedente destes processos de alteração fica, por norma, retida *in situ* sob a forma de quartzo.

Os **fenitos** resultam do metassomatismo alcalino das rochas encaixantes graníticas do CCB, desencadeado por interacção dessas rochas com fluidos residuais da intrusão carbonatítica. No CCB, a fenitização dos granitos encaixantes implicou uma diminuição progressiva do seu teor em quartzo, em contraste com o aparecimento de associações minerais potássico-sódicas constituídas por feldspato-K (microclina), plagioclase-Na (albite), piroxenas (aegirina-augite) e anfíbolas sódicas, acompanhadas por quantidades acessórias de óxidos de Ti (anátase e brookite). Os óxidos e hidróxidos de Fe (\pm Mn) são abundantes, formando paragénese hematite + goethite (\pm lepidocrocite) típicas, que preenchem redes anastomosadas de veios, o que traduz a intensa meteorização química destas litologias (Santos, 2010; Beleque, 2010). Por vezes observa-se barite em veios, o que indica a presença de Ba no sistema. Estas rochas apresentam granularidade média a grosseira e a matriz pode ser calcítica ou quartzosa, evidenciando respectivamente processos de carbonatação ou silicificação. Embora a presença de quartzo microcristalino (em veios e na matriz) seja pouco comum em rochas feníticas, é plausível inferir que possa ter resultado de processos de silicificação pós-metassomáticos.

Os **glimeritos** (ou micaítos) são interpretados no CCB como apófises de origem tardi-magmática ou metassomática que intersectam a intrusão carbonatítica. Estas rochas, essencialmente constituídas por flogopite castanha, muito pleocróica, contêm quantidades mais escassas de piroxenas, anfíbolas, apatite, carbonatos e, pontualmente, de pirocloro. Os glimeritos traduzem possivelmente a circulação de fluidos derivados de processos tardi-magmáticos associados às rochas carbonatíticas.

V.1. Amostras da Sondagem

A observação petrográfica das (37) amostras obtidas na sondagem BLS-1, e colhidas entre 37.45 m e 610.20 m de profundidade, permitiu traçar algumas distinções com base nas suas características mineralógico e texturais. A descrição petrográfica detalhada destas amostras encontra-se no Anexo V.

- As amostras BLS-1, B-6, B-8, B-12, B-14, B-16, B-17, B-19, B-21, B-23, B-24, B-25, B-26 e B-33 correspondem a exemplares bem preservados do cálcio-carbonatito, apresentando uma paragénese constituída por carbonatos (essencialmente calcite) + piroxena \pm anfíbola + apatite + mica \pm clorite + óxidos e hidróxidos de Fe + pirocloro, entre outros óxidos exóticos (zirconatos e titanatos) bastante raros (Pereira, 2011). Ocasionalmente, a piroxena e a anfíbola encontram-se parcialmente substituídas por

carbonatos secundários. O pirocloro é frequente na maior parte destas amostras, quase sempre subédrico, de cor castanha e zonado, e exibindo indícios de alteração, aparecendo corroído.

- As amostras B-1a, B-1b, B-4a, B-4b, B-9, B-10, B-11, B-15, B-20, B-23 e B-32 distinguem-se por conterem, além da paragénese mineral típica atrás descrita, olivina, quer em cristais bem definidos, quer em grãos pseudomorfizados por carbonatos secundários. A proporção relativa de pirocloro nestas lâminas varia bastante, sendo raro e bastante disseminado nas amostras mais superficiais (B-1a, B-4a e B-4b), apresentando aí uma tonalidade mais clara, e mais abundante nas amostras mais profundas (B-9, B-10, B-11, B-15, B-20, B-23 e B-32), onde exhibe tons acastanhados mais escuros; por vezes encontra-se associado a óxidos pouco comuns (como a badeleíte). Destaca-se que na amostra B-32 a olivina se encontra serpentinizada, sendo um caso pontual no CCB.
- As amostras B-2, B-3, B-5 e B-7 correspondem a carbonatitos bastante meteorizados, com extrema oxidação. Há uma grande concentração em óxidos e hidróxidos de Fe \pm Mn, encontrando-se os agregados de magnetite primária bastante alterados, parcialmente substituídos por misturas de maghemite + hematite, hematite + goethite ou até apenas goethite. Nestas amostras, o pirocloro é bastante raro, ocorrendo como fantasmas (em B-3 e B-5), ou como pequenos grãos castanhos euédricos alterados (em B-7).
- A amostra B-13 distingue-se por se encontrar bastante ferruginizada, apresentando texturas em *boxwork*, e é constituída essencialmente por carbonatos grosseiros e por óxidos e hidróxidos de Fe; não foi observado pirocloro nesta amostra.
- As amostras B-18, B-29, B-30, B-34, B-35 e B-36 correspondem a rochas glimeríticas, constituídas essencialmente por flogopite (e por vezes clorite), apresentando quantidades acessórias de piroxena, apatite, carbonatos e pirocloro. A amostra B-36 corresponde ao contacto entre glimerito e cálcio-carbonatito e contém pirocloro abundante.
- As amostras B-22, B-27, B-30 e B-31 representam o conjunto de carbonatitos mais alterados, provavelmente devido ao metassomatismo carbonatado intenso a que estiveram sujeitos, traduzido na substituição das calcites primárias por carbonatos secundários. O pirocloro é frequente e ocorre, de modo geral, em grãos acastanhados subédricos bastante alterados.
- A amostra B-28 corresponde a uma rocha ígnea alcalina, essencialmente constituída por uma matriz quartzo-feldspática, com quantidades apreciáveis de piroxena (aegirina-augite) e plagioclase, ambas com evidências de substituição parcial por carbonatos; não foi observado pirocloro nesta amostra. É plausível inferir que esta amostra corresponde à intersecção da sondagem com o anel fenítico.

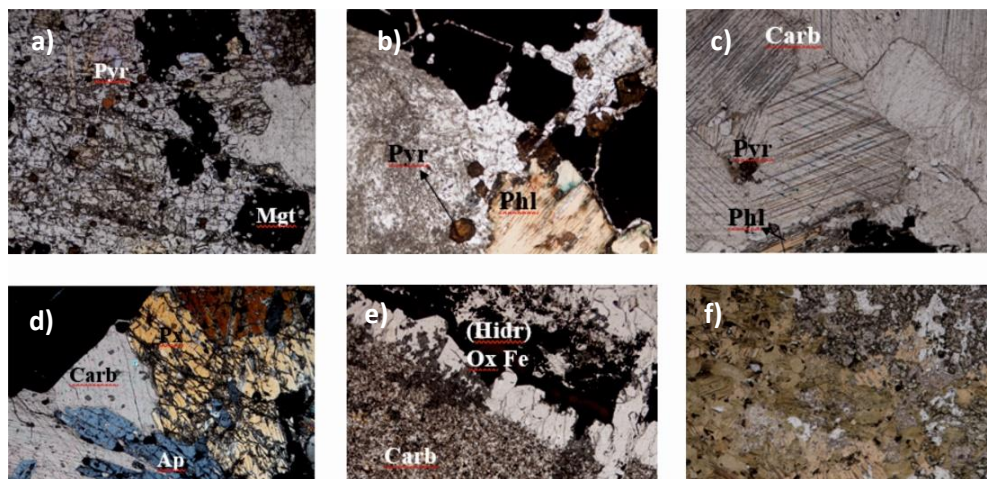


Figura V.1- Imagens em microscópio petrográfico representativas das amostras da sondagem, correspondendo ao Ca-carbonatito (a, b, c, e d) e ao glimerito (e e f).

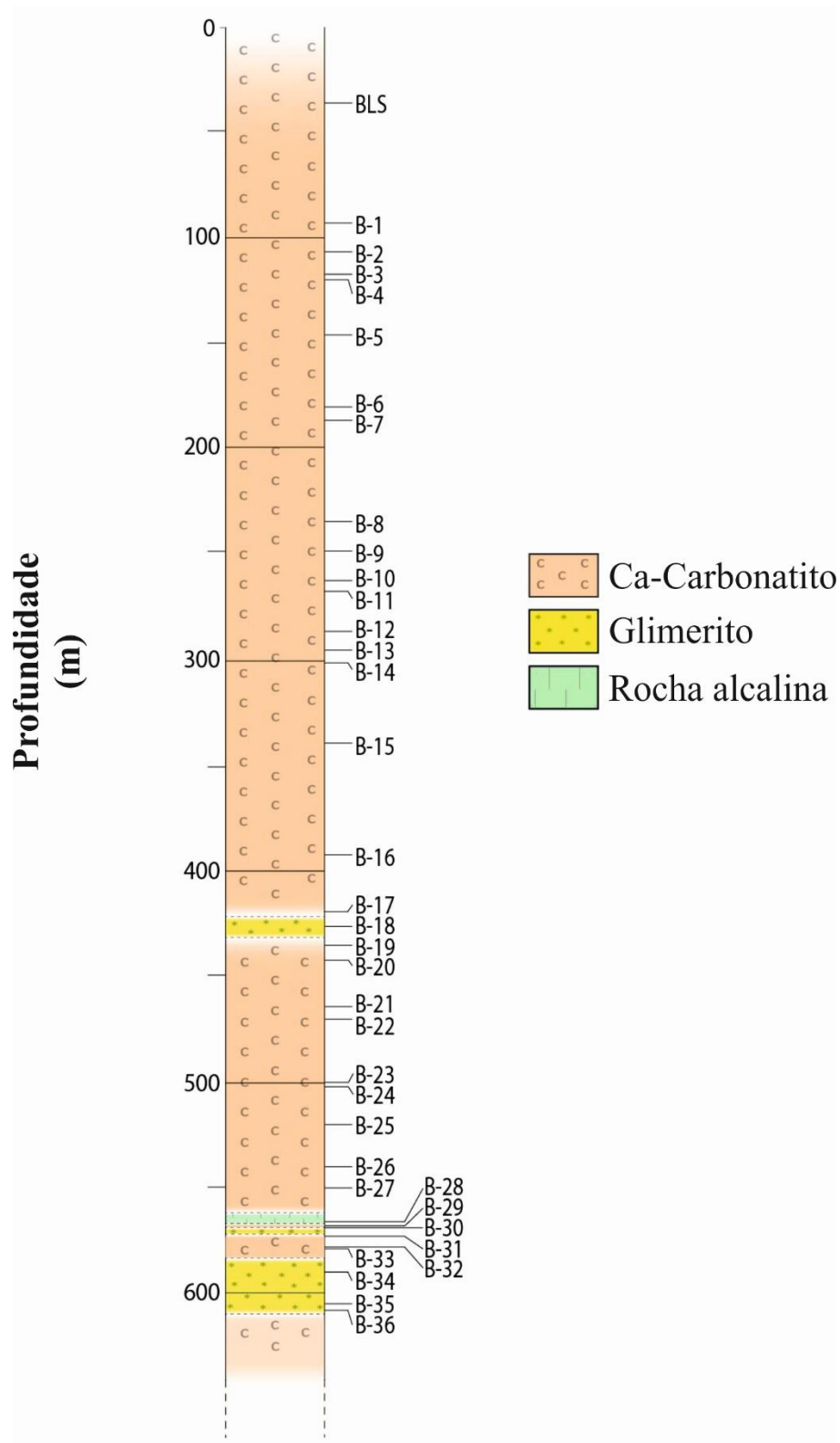


Figura V.2- Esquema representativo da sondagem subvertical BLS, baseado na sua interpretação petrográfica.

V.2. Amostras de Superfície

As amostras superficiais (81) foram agrupadas de acordo com as diferentes litologias do CCB em que foram colhidas, de modo a melhor interpretar as diferenças composicionais observadas nos respectivos pirocloros. À semelhança dos trabalhos realizados por Santos (2010) e Beleque (2010), as amostras foram divididas em ferro-carbonatitos, cálcio-carbonatitos, e os fenitos subdivididos conforme os sectores em que afloram (fenitos W, fenitos NE e fenitos SE). A distribuição espacial das amostras e a sua descrição petrográfica são apresentadas no Anexo VI (referência das amostras mais visível do que na Figura V.3). Uma vez que sequências litológicas são relativamente monótonas, a sua descrição em anexo será feita por sectores, e não por amostra; uma descrição detalhada das amostras está disponível nos trabalhos de Santos (2010) e Beleque (2010).

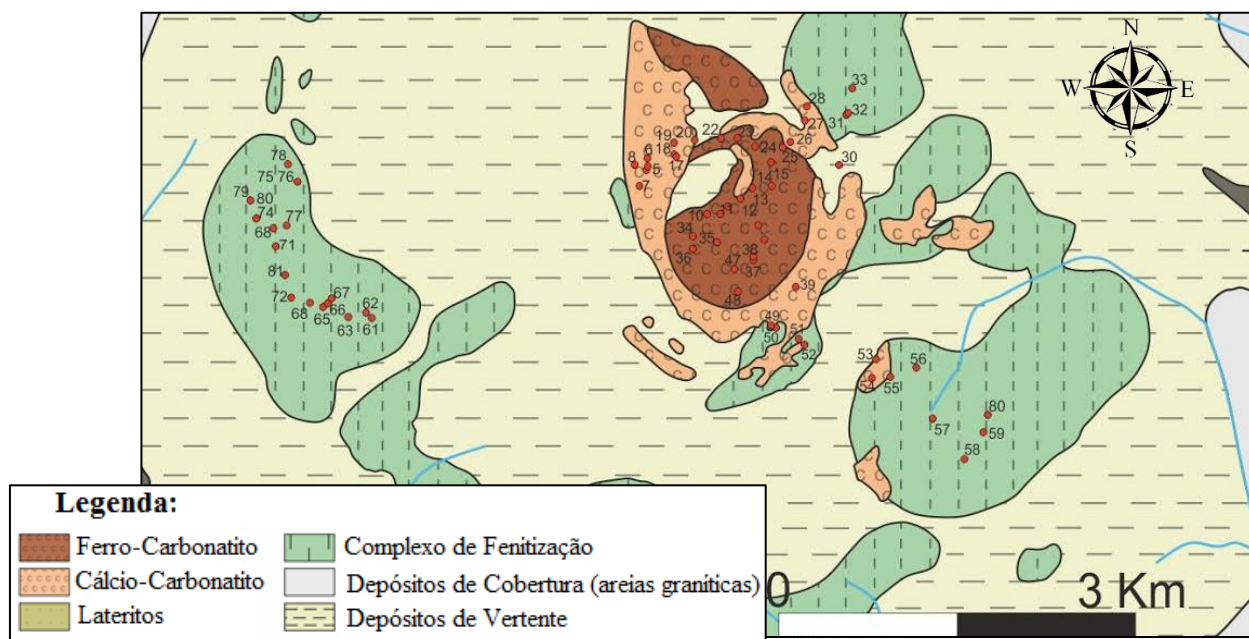


Figura V.3- Distribuição espacial das amostras superficiais colhidas no CCB pela empresa Genius Mineira, Lda.

- As amostras BLP-9, BLP-10, BLP-11, BLP-12, BLP-13, BLP-14, BLP-15, BLP-20, BLP-21, BLP-22, BLP-23, BLP-24, BLP-25, BLP-26, BLP-34, BLP-35, BLP-36, BLP-37, BLP-38, BLP-40, BLP-41, BLP-42, BLP-43, BLP-44, BLP-45, BLP-46, BLP-47 e BLP-48 correspondem às rochas do núcleo ferro-carbonatítico, consistindo em amostras de rochas Fe-carbonatíticas e em minério de Fe proveniente da bolsada magnetítica. A fase carbonatada principal é siderite, embora manifeste frequentemente uma componente calcítica, anquerítica ou dolomítica. O minério de Fe consiste essencialmente em magnetite, hematite e goethite. A mineralogia acessória é constituída por intercrescimentos de fosfatos e flúor-carbonatos de ETR, óxidos de Mn e pirocloros em agregados que selam veios e filonetes tardios que intersectam o carbonatito (Santos, 2010; Beleque 2010).
- As amostras BLP-1, BLP-2, BLP-3, BLP-4, BLP-5, BLP-6, BLP-7, BLP-8, BLP-16, BLP-17, BLP-18, BLP-19, BLP-27, BLP-28, BLP-29, BLP-30, BLP-39, BLP-49, BLP-52, BLP-53 e BLP-54 correspondem aos exemplares do anel cálcio-carbonatítico. A fase carbonatada principal consiste em calcite \pm anquerite \pm dolomite, encontrando-se piroxenas, quartzo, feldspatos, micas e clorite abundantes. São comuns veios e filonetes tardios de quartzo grosseiro, com pirocloro xenomórfico, barite e minerais de ETR,

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

intersectarem a matriz. Os óxidos de Fe são essencialmente magnetite grosseira, muitas vezes substituída para maghemite, hematite ou goethite. O pirocloro ocorre desde pequenos cristais euédricos disseminados e em veios a grãos grosseiros muito fragmentados. Os minerais portadores de ETR (titano-rabdofanite \pm parisite + bastnäsite + synchysite) são comuns e ocorrem em pequenos grãos finos de morfologia radial e fibrosa, disseminados na matriz (Santos, 2010; Beleque, 2010). A barite forma pequenos cristais subédricos, normalmente associada aos óxidos e hidróxidos de Fe.

- As amostras BLP-61, BLP-62, BLP-63, BLP-64, BLP-65, BLP-66, BLP-67, BLP-68, BLP-69, BLP-70, BLP-71, BLP-72, BLP-73, BLP-74, BLP-75, BLP-76, BLP-77, BLP-78, BLP-79, BLP-80 e BLP-81 (A e B) correspondem aos fenitos presentes no sector W, as amostras BLP-31, BLP-32 e BLP-33 correspondem aos fenitos do sector NE e as amostras BLP-55, BLP-56, BLP-57, BLP-58, BLP-59 e BLP-60 representam as rochas feníticas do sector SE do CCB. Os fenitos consistem em rochas ígneas bastante alteradas, com matriz quartzo-feldspática. Os veios que intersectam os feldspatos dispõem-se em redes anastomosadas e são preenchidos por aglomerados de quartzo e óxidos de Fe. As amostras dos fenitos a NE distinguem-se das restantes por conter uma forte componente carbonatada e uma associação mineral secundária composta por minerais exóticos muito raros: pirocloro sob a forma de cristais subédricos relativamente alterados e disseminados; apatite em cristais euédricos alongados, disseminados; lepidocrocite como hidróxido de Fe associado à goethite (Santos, 2010; Beleque, 2010); e zeólitos em agregados fibro-radiais.

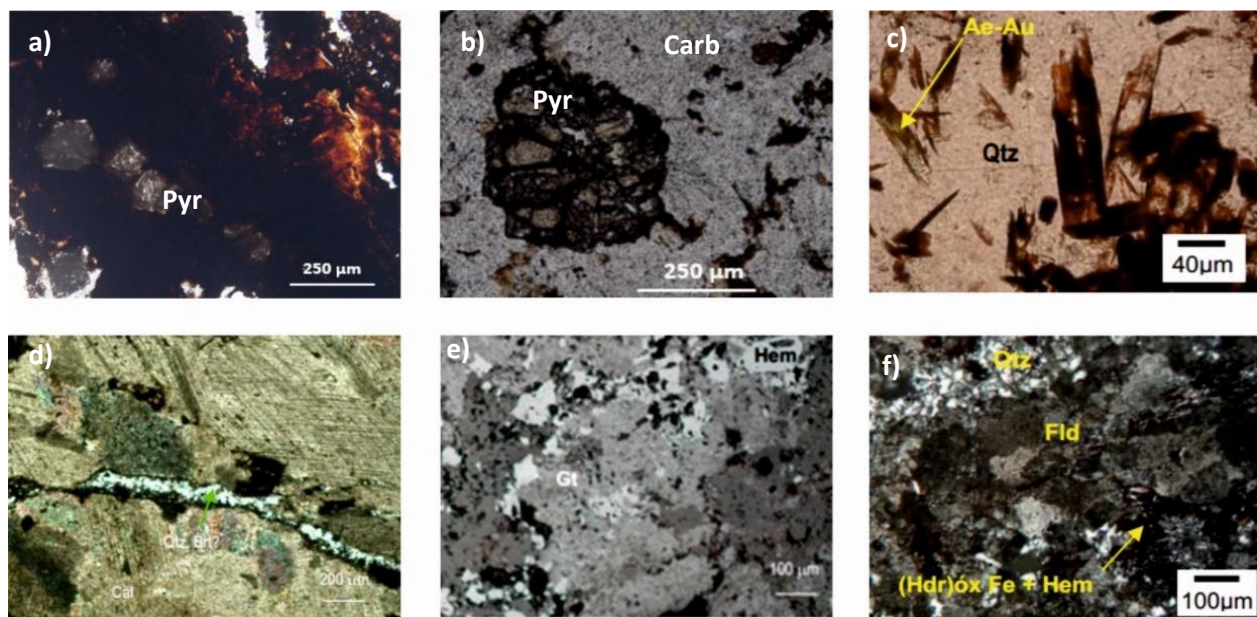


Figura V.4- Imagens em microscópio petrográfico representativas das amostras de superfície, correspondendo ao Ca-carbonatito (a e d), ao Fe-carbonatito (b e minério de Fe maciço - e) e às amostras feníticas (c e f); as imagens c, d, e e f foram retiradas de Santos (2010).

VI. Pirocloro do CCB

A proporção modal de minerais do grupo do pirocloro varia consideravelmente, não apenas nas diferentes litologias presentes no CCB, mas também em amostras do mesmo tipo de rocha. O pirocloro aparece sob a forma de cristais de cor castanha ou amarela, com morfologia euédrica a subédrica, sendo frequentemente zonados e isótipos. Embora o mineral ocorra sempre formando disseminações precoces na matriz da amostra ou associado a mineralizações tardias, o seu grau de alteração, traduzido por modificações composicionais que podem ser muito significativas, varia bastante conforme a amostra.

Embora os pirocloros dos carbonatitos do CCB tenham origem magmática, algumas texturas e zonamentos observados nestes minerais fundamentam a ocorrência de processos posteriores, nomeadamente processos metassomáticos/hidrotermais ou de enriquecimento residual tardi-magmático, durante a acomodação do corpo carbonatítico, seguidos por vezes de processos de meteorização supergénica. Contudo, a caracterização textural não é conclusiva relativamente à origem das composições tardias (se são metassomáticas/hidrotermais ou se são supergénicas), pelo que é imprescindível efectuar análises químicas para interpretar as diferentes etapas que os pirocloros do CCB documentam.

A observação dos vários pirocloros em imagens de electrões retrodifundidos, obtidas na microsonda electrónica, revelou muitas vezes uma zonação críptica, não observável ao microscópio petrográfico. Em pirocloros não alterados, o zonamento primário normalmente observado nessas imagens coincide com o aspecto observado no microscópio petrográfico, mas em grãos muito modificados (resultantes de metassomatismo ou de meteorização), apenas se observam zonações crípticas, em geral muito irregulares, que correspondem a texturas de alteração.

Na literatura geológica, vários autores relatam o comportamento dos constituintes químicos do pirocloro em função dos eventos sucedidos durante e após a sua cristalização (*e.g.* Lumpkin & Ewing, 1995; Nasraoui & Bilal, 2000; Zurevinski & Mitchell, 2004; e Torró *et al.*, 2012). A assinatura química deste mineral é um factor importante relativamente à compreensão dos processos de concentração de metais económicos em depósitos associados a rochas ígneas; o enriquecimento em metais com o potencial para se acumularem em concentrações significativas pode ter derivado de processos de segregação a partir da fonte mantélica, ou resultar da adição posterior durante eventos tardios que incluíram a circulação de fluidos percolantes em superfícies de ruptura. Durante a cristalização do pirocloro, as variações das proporções dos seus principais constituintes elementares são frequentemente evidenciadas por um zonamento químico concêntrico, muito ou pouco acentuado, observável em imagem de electrões retro-difundidos e, por vezes, ao microscópio petrográfico. Os processos de alteração pós-cristalização a que o mineral está sujeito são também marcados na sua textura, evidenciados por orlas de reacção e zonas lixiviadas ao longo de microfraturas e por manchas de corrosão e zonamentos difusos; estas características são justificadas pelas mudanças composicionais que afectam o pirocloro em resultado desses processos. Para uma melhor percepção da variabilidade química do pirocloro, importa ter em conta algumas considerações sobre o comportamento dos diferentes metais que o incorporam:

- i. Os metais Nb, Ta, Ti, Zr, Hf, U e Th são elementos incompatíveis de elevada carga iónica (grupo de elementos HFSE: High Field Strength Elements), concentrando-se essencialmente em fases residuais de líquidos magmáticos durante a sua cristalização. Estes metais são habitualmente imóveis, ou seja, são resistentes a processos de alteração hidrotermal e metassomática; a elevada valência destes elementos torna-os susceptíveis de criar ligações fortes com os aniões presentes no sistema. Contudo, estes elementos

apresentam propriedades termodinâmicas diferentes que, por sua vez, afectam a sua ligação, especiação e fraccionação em fluidos magmáticos e hidrotermais.

O **Nb** e o **Ta** são elementos pentavalentes descritos como indicadores de processos geoquímicos do sistema crosta-manto, dado que as variações na razão Nb/Ta podem relatar os eventos metassomáticos desencadeados por magmas carbonatíticos no manto superior e, possivelmente, a fraccionação rápida de Nb (em relação ao Ta) entre cristal e líquido (Green, 1995).

Os teores em **Zr**, **Hf** e **Ti** (elementos tetravalentes) são bastante informativos relativamente à composição química de rochas carbonatíticas primárias, reflectindo possíveis reacções entre magmas carbonatíticos e magmas peridotíticos enriquecidos nestes elementos (Rudnick *et al.*, 1993).

O **U** no estado tetravalente ocorre tipicamente em meio redutor, sendo um elemento imóvel, acomodado em minerais insolúveis sob condições redutoras. Quando oxidado, o U passa ao estado hexavalente e tende a formar complexos, como o ião uranilo (UO_2^{2+}), que é extremamente móvel em fluidos aquosos em ambientes exógenos (Prazeres, 2011). O **Th** apresenta um comportamento semelhante ao U no seu estado tetravalente.

- ii. O **Ba** é um elemento incompatível de elevado raio iónico (grupo de elementos LILE: Large Ion Lithophile Elements) e extremamente móvel em meios aquosos com pH baixo. Este metal concentra-se tendencialmente nos magmas mais diferenciados, acumulando-se assim em níveis mais superficiais. A presença abundante de Ba em pirocloros é geralmente atribuída a processos hidrotermais ou supergénicos, responsáveis pela remobilização deste elemento a partir da estrutura dos seus minerais hospedeiros originais (Winter, 2001). Outros elementos móveis presentes na estrutura do pirocloro do Bailundo são o **Pb**, **K**, e o **Sr**.
- iii. Os **ETR** são um grupo de elementos com um conjunto de características físico-químicas bastante particulares, distinguindo-se pelos seus raios iónicos decrescerem com o aumento do número atómico, e por serem normalmente trivalentes, embora com algumas excepções pontuais (*i.e.* o Ce pode ocorrer em estado tetravalente, em ambiente oxidante, com comportamento típico de HFSE, e o Eu pode ser bivalente em ambiente redutor, com comportamento típico de LILE).
- iv. O **F** desempenha um papel relativamente importante na compreensão da génese de depósitos alcalino-carbonatíticos, uma vez que permite a fraccionação e o transporte de elementos incompatíveis (como os ETR) e metais alcalinos (*e.g.* K^+ e Na^+), podendo assim participar nos processos de metassomatismo (como a fenitização). A composição do líquido magmático inicial e a sua evolução definem as fases minerais que cristalizam, influenciando a composição do magma residual e a exsolução das fases voláteis. O F ocorre também frequentemente nos fluidos hidrotermais que interagem com minerais primários, promovendo processos de substituição e alteração hidrotermal (Hoshino & Sanematsu, 2016).

Apesar destes critérios serem usados como referência, o comportamento dos vários elementos que incorporam a estrutura dos minerais do grupo do pirocloro pode variar, como está bem documentado (em Zaitsev *et al.*, 2012, Nasraoui & Bilal, 2000; Lumpkin & Ewing, 1995; entre outros), dependendo das diferentes litologias e condições em que o mineral ocorre, assim como dos processos de alteração/metassomatismo a que foi sujeito.

O Subcapítulo VI.1 consiste na descrição da química mineral geral dos pirocloros do Bailundo, distinguindo-os de acordo com as diferentes litologias e estados de alteração, enquanto no Subcapítulo VI.2 será feita uma caracterização pormenorizada dos seus diferentes zonamentos e texturas.

Os vários estados de alteração dos pirocloros diferem com a origem dos processos e condições passíveis de modificar a sua composição química. Embora fiquem registados na sua textura, é difícil correlacionar os

diferentes eventos a que foram sujeitos apenas com a observação das texturas em fotomicrografias e imagens de electrões retrodifundidos; foram então assumidos alguns critérios paragenéticos para distinguir a origem destas alterações texturais.

Os pirocloros metassomatizados devem encontrar-se hospedados em litologias ou relacionados com associações mineralógicas específicas dos efeitos de metassomatismo/hidrotermalismo ou tardi-magmáticos. Consideraram-se então afectados por metassomatismo alguns cálcio-carbonatitos e glimeritos estudados: admite-se que as amostras de cálcio-carbonatitos que contêm anfíbola (richterite), olivina (por vezes substituída por minerais do grupo da serpentina e talco) e clorite (originada pela cloritização das flogopites) foram afectadas por estes processos (Pereira, 2011), assim como a substituição das piroxenas e anfíbolas por carbonatos tardios e quartzo.

Os glimeritos são rochas resultantes de metassomatismo mantélico, geralmente associadas à génese dos complexos carbonatíticos; estas intrusões glimeríticas são também susceptíveis de causar modificações metassomáticas nos pirocloros das rochas encaixantes.

Os pirocloros alterados pela meteorização química incidente no CCB localizam-se em zonas aflorantes (ferro-carbonatitos, cálcio-carbonatitos superficiais ou rochas feníticas) ou subsuperficiais, susceptíveis à acção dos agentes meteóricos pervasivos em superfícies de ruptura e descontinuidades. Como a rede de fracturas do CCB não está documentada, os critérios para a discriminação destes efeitos em pirocloros pertencentes às rochas profundas baseiam-se no padrão de fracturação e nas texturas registadas em pirocloros, características deste tipo de alteração, propostas por Hogarth *et al.* (2000), descritas no Subcapítulo IV.2.

VI.1 Química Mineral

VI.1.1 Pirocloros da Sondagem

Das amostras provenientes da sondagem BLS-1 foram obtidas 219 análises de minerais do grupo do pirocloro por microsonda electrónica (Anexo I). Os pirocloros foram divididos de acordo com o tipo de rocha em que se hospedam (cálcio-carbonatitos e glimeritos) e subdivididos segundo as suas características texturais, em particular zonamentos (Anexo III e Estampa I) informativos dos processos de alteração química que afectaram a sua composição. O conjunto de pirocloros que apresenta zonamentos irregulares, com bordos de reacção bem evidenciados por zonas irregulares descoradas, zonas lixiviadas em microfracturas e zonas de corrosão, são aqui interpretados como pirocloros que estiveram expostos a eventos metassomáticos/hidrotermais ou meteóricos.

Os pirocloros observados e analisados foram classificados segundo o sistema de nomenclatura proposto por Atencio *et al.* (2010) como flúor-cálcio-pirocloros ou hidroxi-cálcio-pirocloros (Figura VI.1a, b e c), sendo o anião dominante na posição **Y** o F (nos pirocloros primários ou pouco modificados) ou o OH⁻ (nos pirocloros metassomatizados), o catião dominante na posição **A** o Ca e o catião dominante na posição **B** o Nb.

Os pirocloros **não modificados** nas rochas carbonatíticas profundas (essencialmente flúor-cálcio-pirocloros) apresentam os valores mais elevados em Nb (\bar{x} = 51.36 wt%, máx = 66.10 wt%), mas os mais baixos em Ti (\bar{x} = 4.20 wt%), Ta (\bar{x} = 4.01 wt%) e Zr (\bar{x} = 4.51 wt%). Os teores em Ca (\bar{x} = 10.09 wt%, máx = 17.81 wt%), U (\bar{x} = 3.51 wt% máx = 12.25 wt%), Th (\bar{x} = 7.70 wt%, máx = 17.49 wt%) e F (\bar{x} = 1.23 wt%, máx = 3.77 wt%) são relativamente elevados, ao contrário dos valores de Ba (\bar{x} = 0.89 wt%), Sr (\bar{x} = 2.12 wt%)

e Na ($\bar{x} = 1.63$ wt%). Os principais ETR incorporados nestes minerais são o Ce ($\bar{x} = 1.36$ wt%), o Nd ($\bar{x} = 0.36$ wt%) e o Tb ($\bar{x} = 0.29$ wt%). Nestas rochas, os pirocloros apresentam em média valores de 0.65 *pfu* na proporção de lacunas da posição A e 1.28 *pfu* de OH⁻.

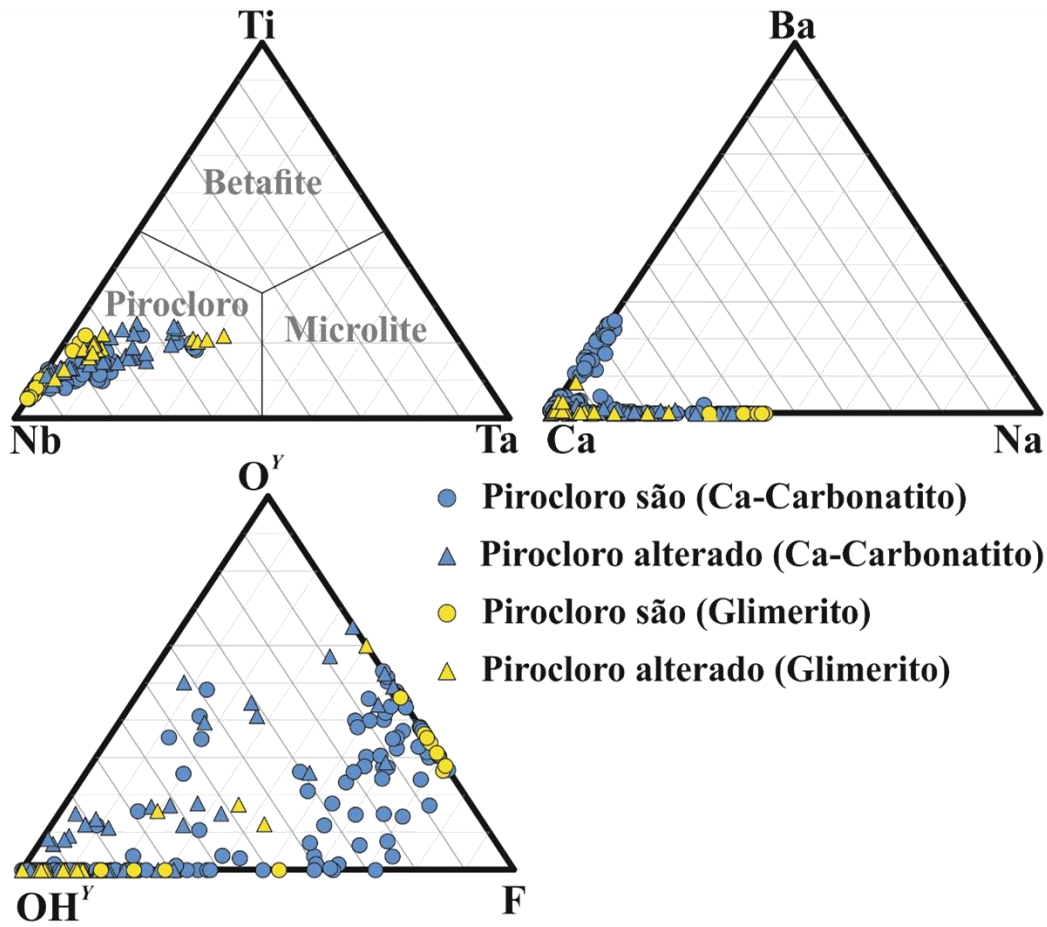


Figura VI.1- Diagramas ternários com os principais constituintes composicionais (apfu) do pirocloro pertencente às rochas profundas do CCB.

Os pirocloros metassomatizados (maioritariamente hidroxi-cálcio-pirocloro) apresentam as concentrações mais baixas em Nb ($\bar{x} = 41.65$ wt%, máx = 58.39 wt%), mas as mais elevadas nos restantes elementos imóveis, nomeadamente em Ta ($\bar{x} = 8.32$ wt%), Ti ($\bar{x} = 5.17$ wt%) e Zr ($\bar{x} = 4.44$ wt%). Dos restantes elementos, são de notar as concentrações relativamente reduzidas de Ca ($\bar{x} = 9.34$ wt%), Na ($\bar{x} = 0.93$ wt%), U ($\bar{x} = 8.52$ wt%), Th ($\bar{x} = 9.71$ wt%), Sr ($\bar{x} = 2.03$ wt%), Ba ($\bar{x} = 0.21$ wt%), F ($\bar{x} = 0.80$ wt%), OH⁻ ($\bar{x} = 0.87$ *pfu*) e ETR ($\bar{x} = 4.63$ wt%), em que o Ce ($\bar{x} = 1.27$ wt%) é o mais abundante, seguido do Nd ($\bar{x} = 0.40$ wt%) e Tb ($\bar{x} = 0.22$ wt%). A proporção de lacunas da posição A nestes pirocloros apresenta valores médios de 0.53 *pfu*.

Os **glimeritos** contêm hidroxi- e flúor-cálcio-pirocloros quimicamente semelhantes aos pirocloros metassomatizados dos cálcio-carbonatitos, embora com valores mais elevados em Nb ($\bar{x} = 47.72$ wt%, mas com valores máximos de 66.76 wt%), Ca ($\bar{x} = 12.17$ wt%) e Na ($\bar{x} = 2.27$ wt%), mas relativamente baixos em U ($\bar{x} = 4.12$ wt%), Zr ($\bar{x} = 2.55$ wt%) e Sr ($\bar{x} = 1.58$ wt%). As concentrações em Ti ($\bar{x} = 5.46$ wt%), Ta ($\bar{x} = 6.00$ wt%), Th ($\bar{x} = 7.19$ wt%), ETR ($\bar{x} = 2.95$ wt%), Ba ($\bar{x} = 0.21$ wt%) e Pb ($\bar{x} = 0.17$ wt%) são muito

idênticas às dos restantes pirocloros profundos. Os pirocloros destas unidades litológicas apresentam, em média, a menor quantidade de lacunas na posição A (0.14 *pfu*, com máximo de 0.90 *pfu*) e de OH⁻ (\bar{x} = 0.92 *pfu*), mas as maiores concentrações em F (\bar{x} = 1.48 wt%, máx = 4.00 wt%).

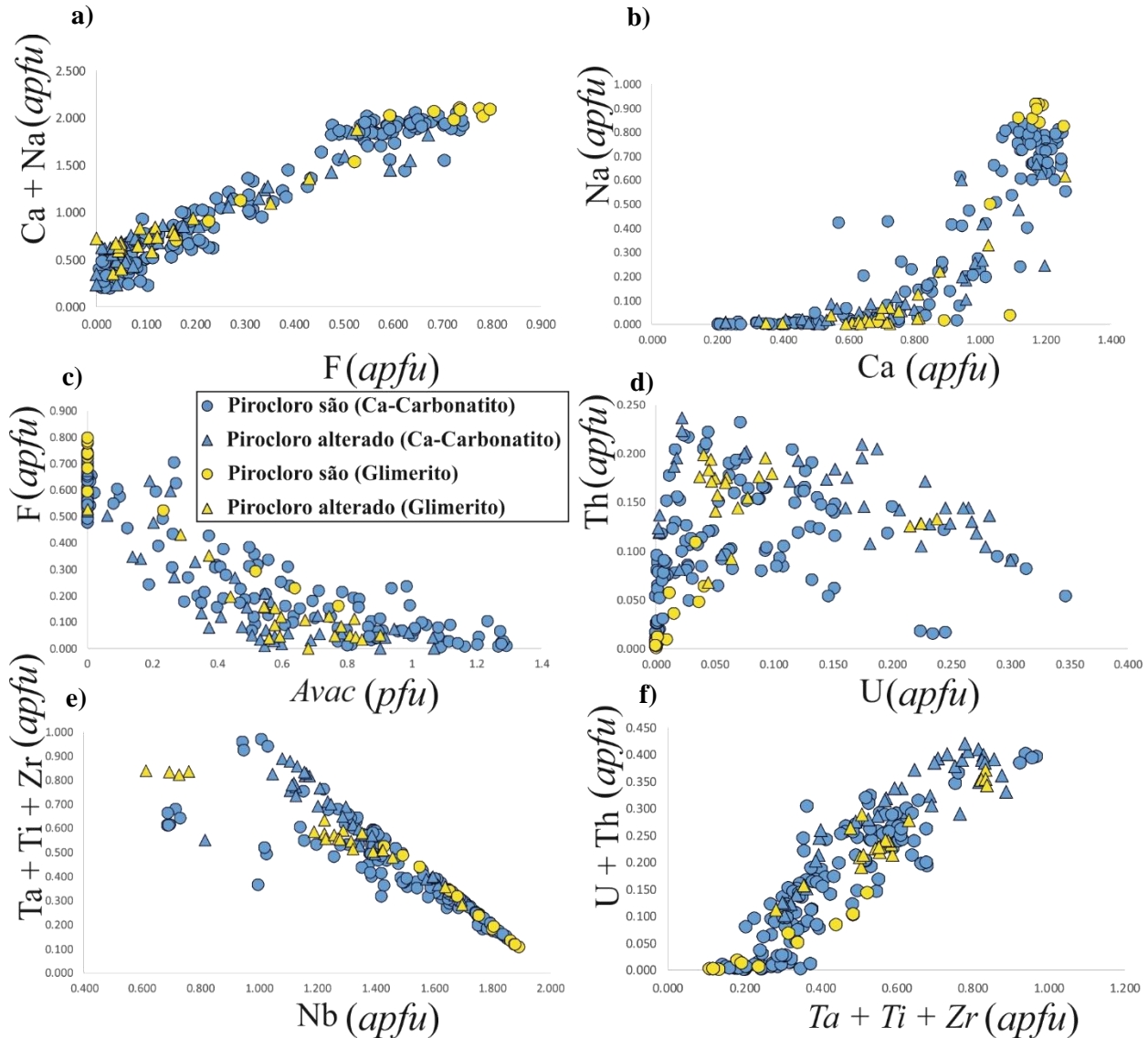


Figura VI.2- Relação elementar entre alguns constituintes químicos dos pirocloros profundos do CCB, em apfu.

Em todas as amostras, verifica-se que o teor em F é proporcional ao de Ca, Na (Figura VI.2a) e OH⁻, mas apresenta uma correlação negativa com o O e com as lacunas da posição A. Em relação aos cátions principais, os pirocloros não alterados/metassomatizados apresentam maiores teores em Nb, Ca, Na, F e ETR, e razões U/Th relativamente baixas, ao contrário dos pirocloros alterados, que contêm maiores concentrações de Ta, Ti, Zr, U, Fe e maior proporção de lacunas na posição A. É de salientar ainda que, para todas as amostras, o Nb apresenta uma correlação negativa em particular com o U, ao contrário do Ta, que manifesta uma correlação positiva bem assinalada (Figura VI.2f); o Ca, o Na e o O variam na relação inversa com a proporção de lacunas na posição A, ao contrário do que sucede com o OH⁻. Os pirocloros de

cálcio-carbonatitos que não aparentam sinais de metassomatismo, por vezes apresentam maiores proporções de vazios estruturais do que os restantes, ao contrário do que seria expectável, contém mais Ba, embora muito pouco representativo; esta aparente contradição pode talvez explicar-se pelo facto de muitas análises efectuadas não corresponderem ao núcleo primário dos cristais. Os pirocloros não alterados pertencentes ao glimerito não contêm teores apreciáveis de U e Th e apresentam muito poucas lacunas na posição **A**. Os pirocloros alterados (em ambas as litologias) contêm uma maior diversidade de catiões na posição **B**, com uma razão Nb/(Ta + Ti + Zr) relativamente baixa (Figura VI.2e).

VI.1.2 Pirocloros Superficiais

Foram efectuadas 158 análises nos minerais do grupo do pirocloro das amostras de superfície do CCB (Anexo II), pertencentes ao núcleo ferro-carbonatítico (amostra BLP-40), ao anel cálcio-carbonatítico (amostras BLP-5 e BLP-6 no bordo W; amostra BLP-29 no bordo NE; e a amostra BLP-39 no bordo SE) e às rochas feníticas do sector NE (amostras BLP-31 e BLP-32). É possível observar várias diferenças nos pirocloros superficiais destes subgrupos, não só em relação às suas características morfológicas e texturais (Anexo IV e Estampa II), mas também na sua composição química.

Estes pirocloros foram categorizados segundo o sistema de nomenclatura proposto por *Atencio et al.* (2010), possibilitando a sua distinção em duas populações principais. No ferro-carbonatito, no cálcio-carbonatito NE e nas rochas feníticas, existem essencialmente hidróxi-cálcio-pirocloros, enquanto no cálcio-carbonatito W e SE são predominantes os hidróxi-bário-pirocloros, uma vez que o anião dominante na posição **Y** é o OH- (embora com quantidades elevadas em F) e o catião dominante na posição **B** é o Nb para as duas classes, diferenciando-se apenas o catião dominante na posição **A** (Ca ou o Ba) (Figura VI.3a, b e c). O núcleo ferro-carbonatítico hospeda ambas as espécies de pirocloro. Regista-se ainda uma ocorrência de hidróxi-uranopirocloro, muito alterado, numa amostra do fenito NE, cuja composição química se destaca apenas pelas concentrações muito próximas de U e Ca, em oposição aos restantes pirocloros.

Os pirocloros pertencentes ao **núcleo ferro-carbonatítico** demonstram, geralmente, uma homogeneidade composicional primária, sem evidências de modificações metassomáticas, embora se encontrem bastante fragmentados, com zonas de lixiviação/corrosão e preenchimentos tardios. Este conjunto de pirocloros apresenta em média os maiores teores em Ca (\bar{x} = 14.66 wt%) e Na (\bar{x} = 3.81 wt%), com valores apreciáveis em F (\bar{x} = 2.51 wt%, e máx = 4.38 wt%) e Pb (\bar{x} = 2.49 wt%, máx = 11,134 wt%), mas relativamente empobrecidos em Ba (\bar{x} = 2.018 wt%) e com menor proporção de lacunas na posição **A**, distinguindo-se assim das restantes litologias superficiais. Apesar desta população de pirocloros se encontrar no núcleo ferro-carbonatítico, os pirocloros não apresentam valores de Fe consideráveis (< 3.97 wt%). Os teores em elementos tendencialmente imóveis variam bastante nestas litologias, onde o Nb apresenta valores entre 45.62 wt% e 72.91 wt% (\bar{x} = 63.27 wt%), o Ti com valores médios de 3.98 wt% e máximo de 30.869 wt%; o Ta e o Zr registam valores relativamente baixos, atingindo respectivamente máximos de 1.20 wt% e 2.08 wt%. Os ETR com maiores concentrações nesta unidade litológica são o Tb (\bar{x} = 0.61 wt%) e o Ce (\bar{x} = 0.32 wt%).

No **anel cálcio-carbonatítico** é possível distinguir as duas populações diferentes de pirocloros, com base nos seus constituintes químicos. Os pirocloros representativos do **bordo W** são caracterizadas por um grande enriquecimento em Ba (\bar{x} = 19.21 wt%) e OH- (\bar{x} = 2.57 pfu, máx = 3.24 pfu), e empobrecimento em Ca (\bar{x} = 1.55 wt%), Na (\bar{x} = 0.71 wt%), U (< 0.08 wt%), Th (< 0.17 wt%), Sr (\bar{x} = 0.55 wt%) e F (0.47 wt%). Os valores de Nb são relativamente elevados (\bar{x} = 64.65 wt%) comparativamente ao Ti (< 3.98 wt%),

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

ao Ta (< 0.32 wt%) e ao Zr (< 1.68 wt%). Neste bordo os ETR apresentam um valor médio de 1.42 wt% (e máximo de 3.18 wt%), tendo o Tb as maiores concentrações (\bar{x} = 0.57 wt%).

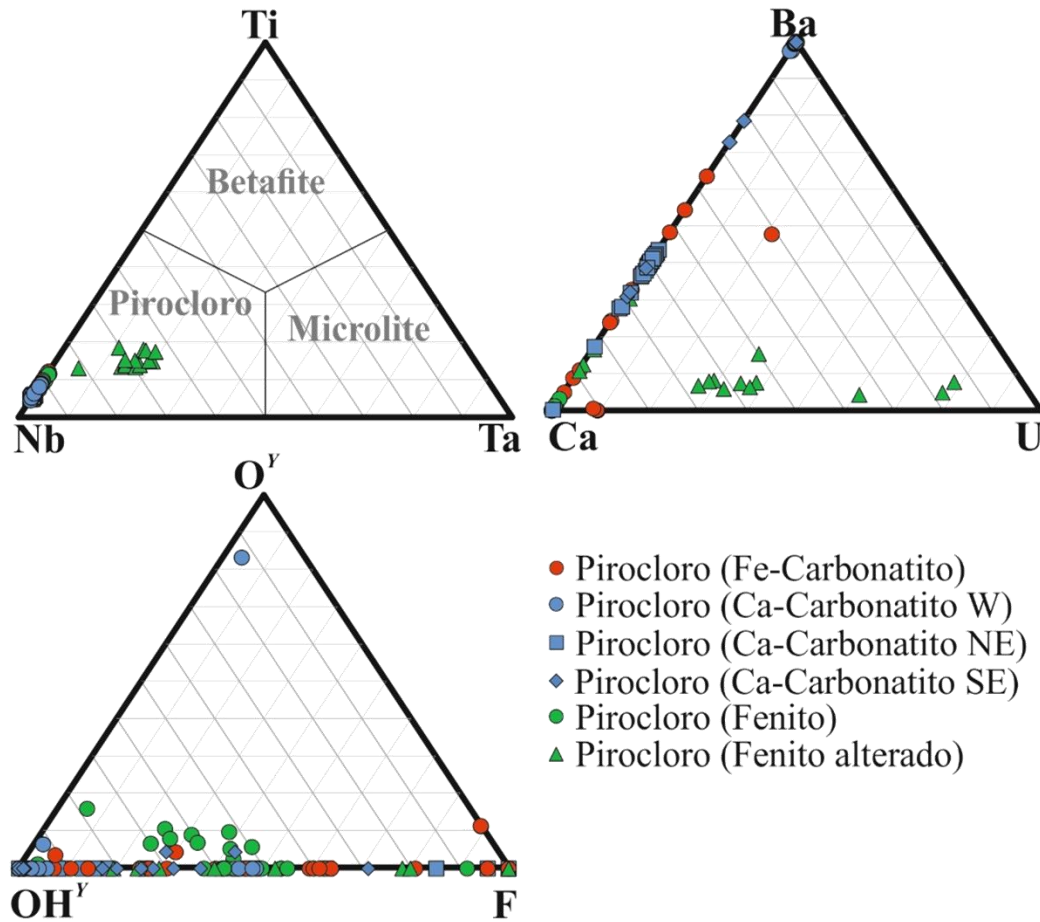


Figura VI.3- Diagramas ternários com os principais constituintes composicionais (apfu) do picrocloro pertencente às rochas aflorantes do CCB.

No **bordo SE**, os pirocloros não apresentam um grau de alteração tão extremo como o que se observa no bordo W. Contudo, observam-se elevadas concentrações de Pb (\bar{x} = 6.00 wt%, máx = 19.98 wt%), Ba (\bar{x} = 4.21 wt%, máx = 11.27 wt%), Sr (\bar{x} = 1.08 wt%, máx = 2.44 wt%) e em ETR (\bar{x} = 1.61 wt%, máx = 3.13 wt%), sendo os teores de Tb os mais elevados (\bar{x} = 0.51 wt%, máx = 1.76 wt%). Os valores de Nb variam entre 53.80 wt% e 71.97 wt% (\bar{x} = 65.03 wt%) e os de Ti entre 1.82 wt% e 3.90 wt%, contrastando com os baixos valores de Ta (< 0.56 wt%) e Zr (< 1.47 wt%). Estes pirocloros apresentam ainda as maiores concentrações de Ca (\bar{x} = 12.27 wt%) e Na (\bar{x} = 2.69 wt%).

Os pirocloros do **bordo NE**, muito fracturados (por vezes encontrando-se apenas sob a forma de clastos), distinguem-se dos pirocloros dos bordos W e SE por apresentarem menores teores em Ba (\bar{x} = 8.38 wt%), Nb (55.14 - 68.11 wt%, \bar{x} = 60.22 wt%), Ti (\bar{x} = 3.06 wt%), Na (< 0.13 wt%), OH- (\bar{x} = 1.85 pfu) e menos lacunas na posição A (\bar{x} = 0.91 pfu), e teores consideráveis de Ca (\bar{x} = 5.71 wt%), Th (\bar{x} = 2.11 wt%), Sr (\bar{x} = 7.14 wt%, máx = 9.09 wt%), Ta (\bar{x} = 0.18 wt%) e Zr (\bar{x} = 1.64 wt%). É de referir ainda que o ETR dominante nos pirocloros desta litologia é o Ce (\bar{x} = 1.48 wt%), ao contrário dos outros pirocloros do anel sovítico.

Nas amostras dos **fenitos NE** ocorrem dois conjuntos de pirocloros distintos, com características morfológico-texturais e composicionais bastante diferentes. Os pirocloros da amostra BLP-31 encontram-se pouco alterados, com uma composição química semelhante à dos pirocloros representativos do núcleo ferro-carbonatítico, com teores muito elevados de Nb (entre 62.37 wt% e 70.88 wt%), Ca (\bar{x} = 17.38 wt%, máx = 18.71 wt%) e Na (\bar{x} = 5.60 wt%) e com a presença significativa de F (\bar{x} = 3.32 wt%). Os pirocloros da amostra BLP-32 destacam-se por se apresentarem totalmente corroídos, possivelmente devido a processos de lixiviação durante meteorização a que estiveram sujeitos, e por conterem quantidades apreciáveis de Ta (\bar{x} = 14.98 wt%, máx = 18.63 wt%), U (\bar{x} = 6.38 wt%), Th (\bar{x} = 3.82 wt%), Ti (\bar{x} = 5.40 wt%), Zr (\bar{x} = 4.37 wt%) e OH⁻ (\bar{x} = 2.02 wt%), assim como uma proporção elevada de lacunas na posição **A**; contudo apresentam teores relativamente baixos em Nb (\bar{x} = 41.04 wt%, máx = 54.32 wt%), Ca (< 1.80 wt%), Na (< 0.08 wt%) e F (< 0.50 wt%). O ETR dominante nos fenitos é o Ce (\bar{x} = 0.45 wt%), seguido do Tb (\bar{x} = 0.36 wt%).

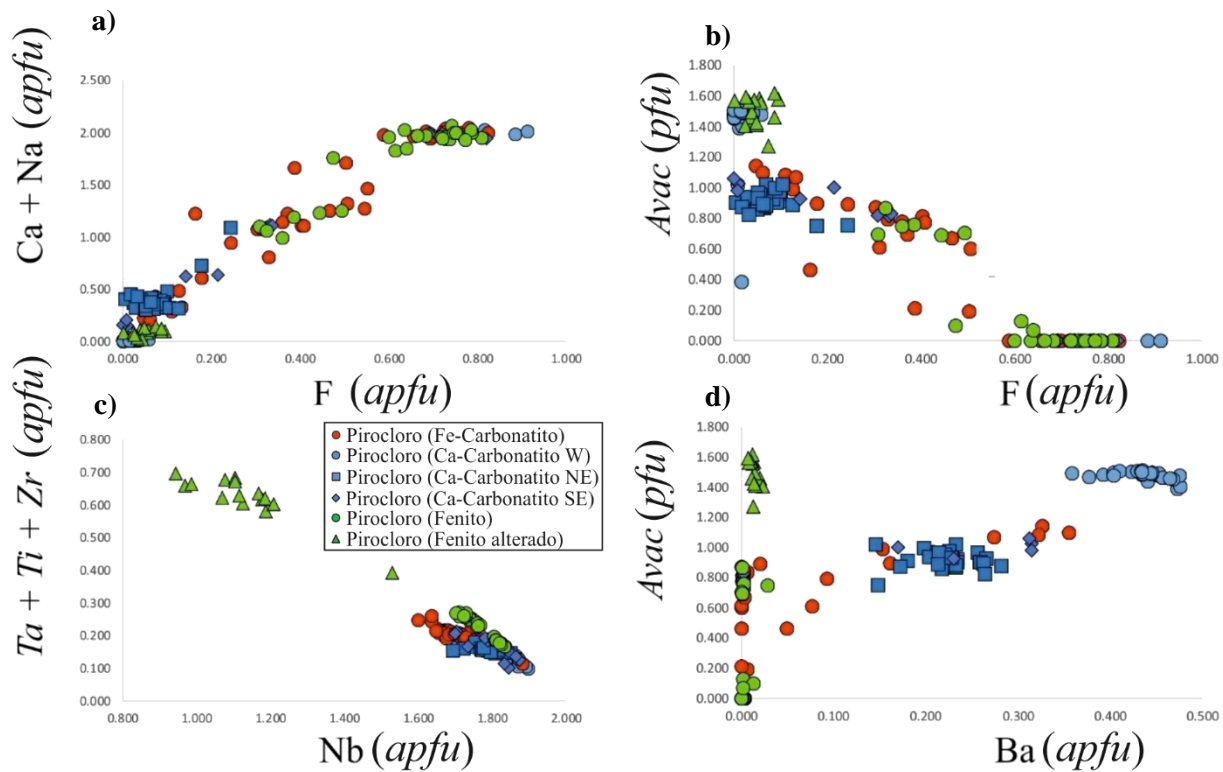


Figura VI.4- Relação elementar entre alguns constituintes químicos dos pirocloros superficiais do CCB, em apfu.

Face a estas diferenças composicionais dos pirocloros superficiais do CCB (perceptível nos gráficos da Figura VI.4 - a, b, c, d), é possível sumarizar que o núcleo ferro-carbonatítico e os fenitos (não alterados) contêm, no geral, os pirocloros mais enriquecidos em Ca, Na e F, enquanto os cálcio-carbonatitos hospedam os pirocloros com maiores teores em Ba, Pb, Sr e OH⁻. Observa-se também que a proporção de lacunas estruturais na posição **A** dos pirocloros não varia significativamente nas diferentes litologias superficiais do Bailundo. Estas diferenças composicionais, derivadas da intensa meteorização química e oxidação que ocorreu nas rochas aflorantes, podem produzir padrões de zonamentos espaciais químicos no CCB. Relativamente aos elementos imóveis (na posição **B**), é possível verificar que não há variações significativas entre os pirocloros das diferentes litologias, com exceção das rochas feníticas em que o pirocloro se encontra muito alterado.

VI.1.3 Validação das análises químicas de pirocloros em trabalhos prévios

Entre 2009 e 2011 foram desenvolvidos vários trabalhos de investigação nos afloramentos do Bailundo com base em estudos de detalhe das suas características mineralógicas, petrográficas e geoquímicas, com o propósito de aperfeiçoar o seu modelo geológico e respectiva contextualização nas estruturas carbonatíticas angolanas. As actividades exploratórias da Genius Mineira Lda. estimularam os projectos paralelos de Santos (2010) e Beleque (2010) e, um pouco mais tarde, de Pereira (2011), que contribuíram não só para aprimorar a compreensão dos efeitos de alteração preservados nestas litologias, mas também para a descoberta de novas fases minerais com interesse económico, como minerais portadores de ETR e dos pirocloros do CCB, que constituíram a base da presente dissertação.

Em Santos (2010) o objectivo consistiu em identificar as características litológicas, geoquímicas e estruturais do CCB, tendo em consideração os processos relacionados com a sua génese e o seu potencial económico. Neste estudo concluiu-se que os domínios com o maior potencial económico para Fe, Ba, P, ETR, Sr, Nb (\pm F, Y, Sc, Ga, Ge) correspondem ao núcleo ferro-carbonatítico e às faixas de transição entre este e os cálcio-carbonatitos. No trabalho de Beleque (2010) foi dado um destaque particular ao estudo dos ETR, nomeadamente às fases minerais que os incorporam e o seu modo de ocorrência, a sua abundância relativa, a caracterização da sua distribuição espacial e o seu potencial económico. Esta avaliação relata que existem no Bailundo minerais portadores de ETR com interesse económico sob a forma de flúor-carbonatos (parisite), fosfatos (rabdofanite), e óxidos (cerianite), que os ETRL (essencialmente La e Ce) predominam sobre os ETRP e que o núcleo ferro-carbonatítico apresenta as maiores concentrações em ETR, apoiando as considerações de Santos (2010). Pereira (2011) discute os efeitos da meteorização química nas rochas carbonatíticas e feníticas do CCB, comparando-as com as litologias do complexo carbonatítico de Capuía, e relacionando-os com os processos de concentração de minério nos dois complexos, afirmando que a alteração, residual ou supergénica, de pirocloros, apatite e barite condiciona a formação de minerais secundários (como fosfatos e flúor-carbonatos de ETR e outros pirocloros e titano-niobatos secundários), e que as mineralizações observadas nas rochas não meteorizadas podem conter concentrações e disseminações de diversas fases minerais com interesse económico (como magnetite, apatite, pirocloro e fosfatos/flúor-carbonatos de ETR).

Os estudos de Santos (2010) e Beleque (2010) basearam-se nas amostras superficiais, enquanto o de Pereira (2011) se centralizou nas amostras dos testemunhos da sondagem BLS-1, ambas concedidas pela Genius Mineira Lda., e todos referem não só a presença abundante de pirocloro, mas também a sua química mineral, disponibilizando numerosas análises de MSE, devidamente referenciadas. Este subcapítulo destina-se assim a comparar as análises efectuadas entre 2009 e 2011 com as actuais, de modo a averiguar a validade da base de dados previamente existente para os diferentes pirocloros do CCB. As amostras foram sujeitas ao mesmo método de preparação e todas as análises foram efectuadas na mesma MSE, variando apenas alguns dos padrões utilizados. Nas análises efectuadas por Santos (2010) e Beleque (2010) nas amostras BLP-31 (fenito NE) e BLP-39 (cálcio-carbonatito NE), foram utilizados apenas 16 padrões, pouco discriminativos dos ETR (apenas permitiam a medida de La, Ce, Pr, Nd e Sm), e não foram medidos alguns elementos relativamente significativos na composição do pirocloro, nomeadamente Ta, Zr, U, Ba e Si. Estes dois últimos elementos, contudo, foram medidos nas amostras BLP-1 (cálcio-carbonatito W) e BLP-37 (ferro-carbonatito). Embora tenha sido utilizado um conjunto de padrões mais limitado que o actual nas análises realizadas por Pereira (2011), já incluíram os elementos mais importantes em falta nos trabalhos de Santos (2010) e Beleque (2010), mais precisamente Ta, Zr, Ba, U e Si. De um modo claro e confrontando a base de dados de 2010,

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

é possível afirmar que as análises efectuadas por Santos (2010) e Beleque (2010) efectuadas para o pirocloro das amostras de superfície BLP-1, BLP-31, BLP-37 e BLP-39 são congruentes com grande parte das análises actuais, uma vez que os elementos em falta são muito pouco significativos na composição do pirocloro superficial. As análises de Pereira (2011) são plenamente coerentes com as análises contemporâneas efectuadas aos pirocloros da sondagem BLS-1, constituindo assim uma base de dados de qualidade sobre os pirocloros do Bailundo.

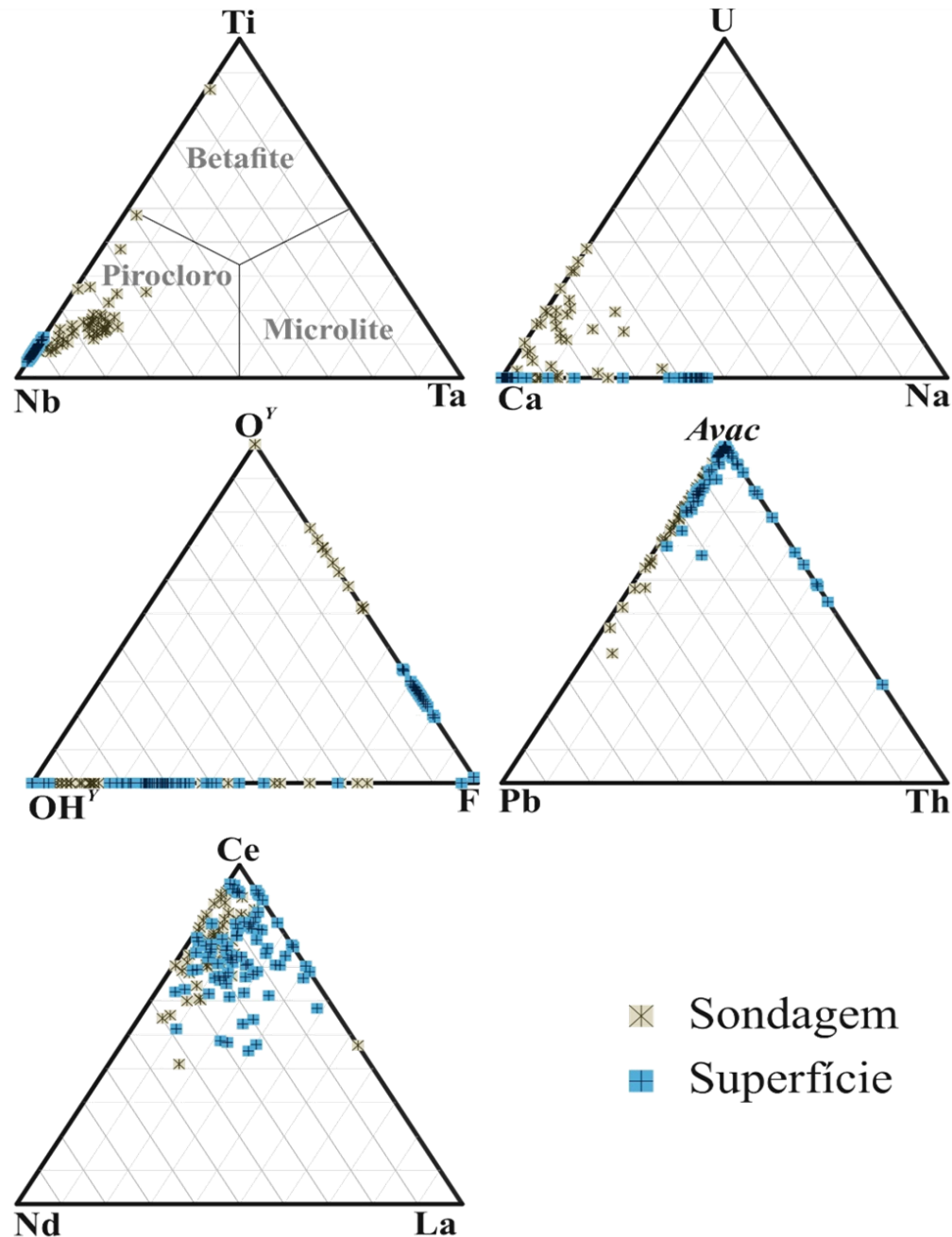
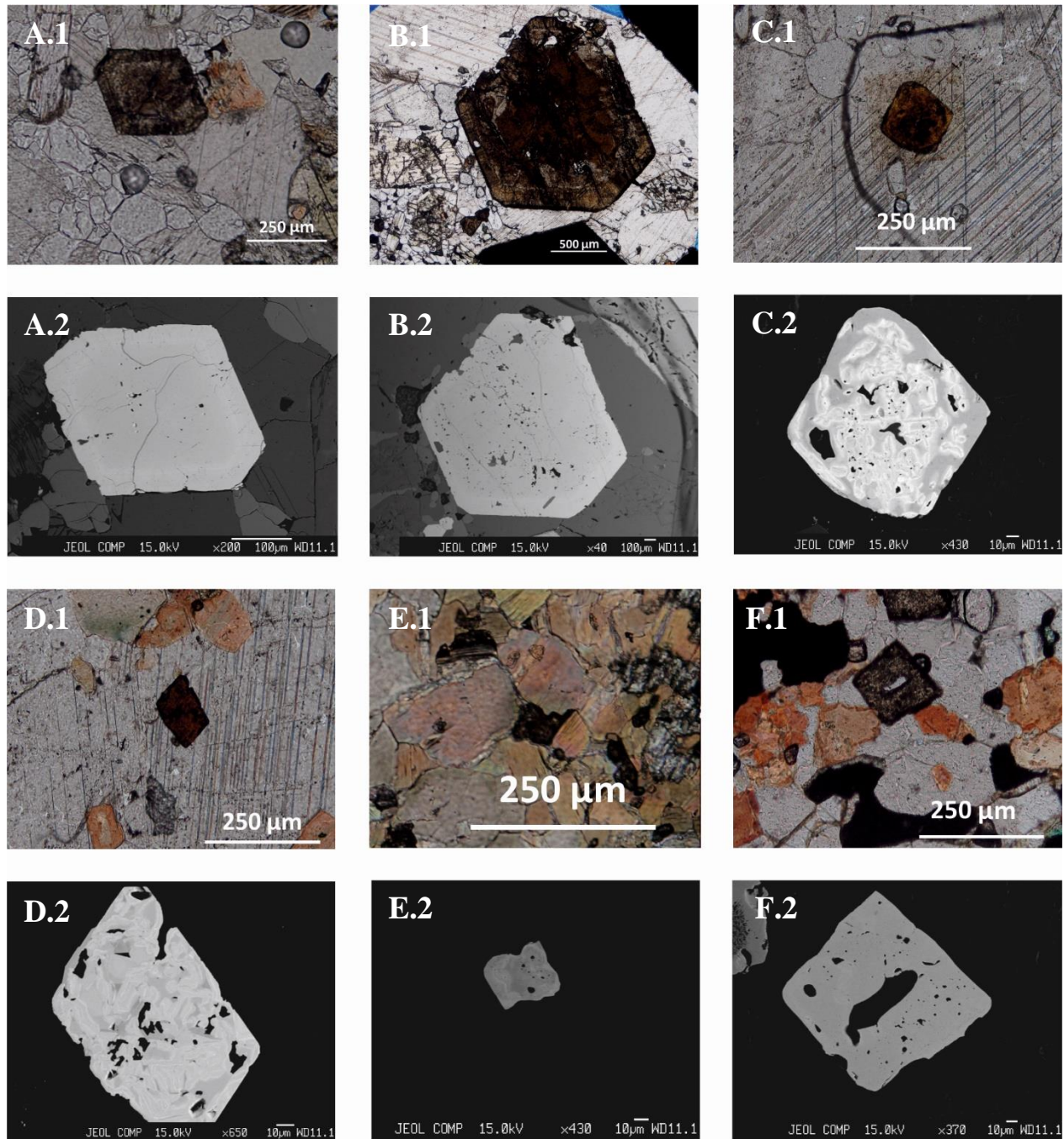
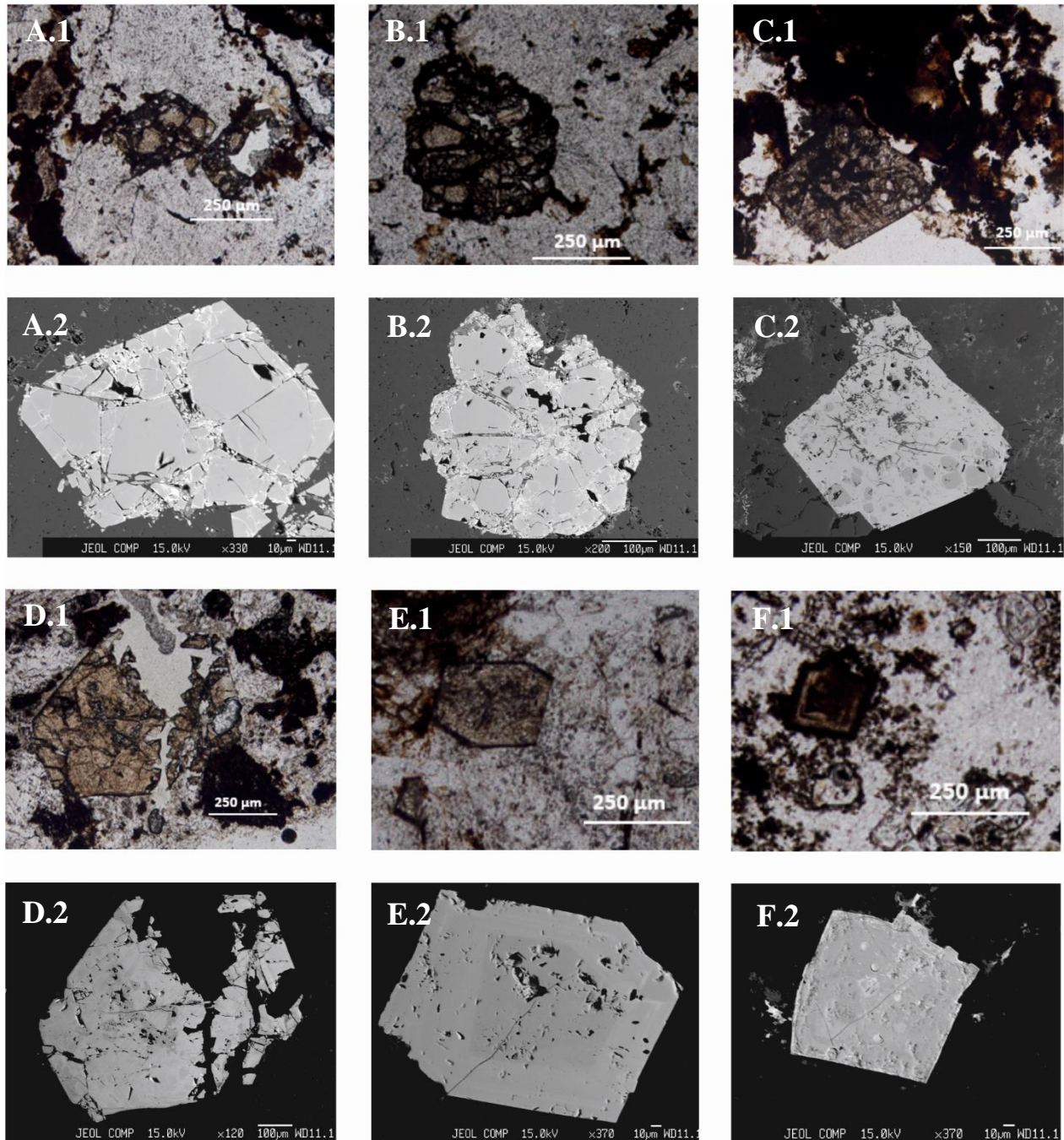


Figura VI.5- Projecções de algumas análises efectuadas por Santos (2010), Beleque (2010) e Pereira (2011), válidas enquanto base de dados referente aos pirocloros do CCB.

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos



Estampa I: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em MSE) de cristais de pirocloro (sub)édricos das amostras da sondagem BLS-1 representativos do cálcio-carbonatito (BLS-1 - **A** e **B**, e B-1a - **C**) e do glimerito (B-18 - **D**, B-35 - **E**, e B-36 - **F**). Nas amostras **A** e **B** observam-se um zonamento concêntrico, pouco acentuado nas imagens de electrões retro-difundidos, correspondentes às texturas de crescimento. Nas imagens dos pirocloros **C** e **D** verificam-se os zonamentos crípticos bastante difusos, sobressaindo as marcas de lixiviação em torno das fracturas intra-cristalinas (**C.2** e **D.2**). Relativamente aos pirocloros dos glimeritos, o pirocloro **E** apresenta uma textura críptica concêntrica, embora um pouco irregular, enquanto o pirocloro **F**, apesar de fracturado, não apresenta qualquer zonamento, revelando uma composição química relativamente homogénea.



Estampa II: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos das amostras superficiais do núcleo ferro-carbonatítico (A e B, amostra BLP-40), do anel cálcio-carbonatítico (do bordo W- C, amostra BLP-5, e do bordo NE – D, amostra BLP-29) e das rochas feníticas (de grãos pouco alterados – E, amostra BLP-31, e de grãos muito corroídos – F, amostra BLP-32). Nas imagens A.2 e B.2 observam-se as zonas de corrosão em torno de fracturas (mais claro) e o preenchimento de veios por oxi-hidróxidos de Fe (mais escuros). Na imagem C.2 é possível verificar as manchas (ou exsoluções) no pirocloro alterado dos cálcio-carbonatitos do bordo W, em oposição ao pirocloro do bordo NE, que se encontra mais fracturado mas com menos texturas de alteração (D.2). Nas imagens E.2 e F.2 observa-se o pirocloro pouco alterado e o pirocloro bastante corroído, respectivamente, das rochas feníticas NE.

VI.2 Zonamento Primário e Texturas de Alteração

O estudo sobre as características composicionais dos minerais do grupo do pirocloro tem sido discutido na literatura (essencialmente em Hogarth, 2000; Rouse *et al.*, 1998; Henderson *et al.*, 2007 e Atencio *et al.*, 2010); contudo, a informação sobre o seu zonamento é um pouco ambígua, em parte devido à dificuldade em se reconhecerem as texturas de alteração secundária (de substituição) e de as distinguir das texturas primárias (de crescimento) (Hogarth *et al.*, 2000). Os pirocloros do Bailundo são muito diversos do ponto de vista textural, preservando as texturas primárias (zonamento concêntrico em alguns casos, ou ausência de zonamento noutros) ou evidenciando marcas de alteração (manchas de corrosão ou zonamentos difusos), o que os torna bons alvos de estudo para uma melhor compreensão destes aspectos. A observação de imagens de electrões retrodifundidos obtidas em MSE revelou, como enunciado no início do Capítulo VI, uma zonação críptica dos pirocloros, o que permitiu não só o estudo preciso da variação química durante a sua fraccionação a partir do magma parental, mas também possíveis variações elementares durante os processos tardi-magmáticos, metassomáticos/hidrotermais e de meteorização química a que esteve sujeito.

Vários dos pirocloros não alterados hospedados nos **cálcio-carbonatitos mais profundos**, provenientes da sondagem BLS-1, caracterizam-se pelos zonamentos concêntricos bem acentuados (mais escuros no núcleo e descorados no bordo), com evidências de uma variação química progressiva isótropa, enquanto os restantes apresentam aspecto homogéneo, sem quaisquer texturas, quer de crescimento, quer secundárias.

Nas figuras que se seguem observam-se, em imagem de electrões retrodifundidos, vários exemplos de pirocloros com zonamento concêntrico primário bem preservado, apesar de alguns desses grãos se encontrarem fracturados (*e.g.* pirocloro 1 da amostra B-7, na Figura VI.8). Os pirocloros menos afectados por processos de alteração pertencem à amostra BLS-1 (Figuras VI.6 e VI.7), mostrando as variações químicas do mineral durante a sua génese. Em geral, os pirocloros apresentam uma diminuição relativa de Nb, Ca, Na e F do núcleo para a periferia, concomitante com um aumento em Ti, Zr, U e Th. Esta variação composicional é por vezes interrompida por uma zona intermédia muito fina, de cor mais clara, com teores moderadamente elevados em Ta, U e Th, comparativamente às outras zonas dos cristais. É de referir que a maioria dos metais traço na sua composição apresentam um comportamento tão aleatório que é difícil utilizá-los para a compreensão do progresso da cristalização magmática destes pirocloros. A proporção de lacunas na posição A aumenta sempre no bordo do mineral, acompanhando os teores decrescentes em Ca, Na e F, quase sempre indício de alteração posterior, ao contrário do comportamento do Ca no estudo efectuado por Hogarth (2000). Contudo, nem todos os pirocloros apresentam estes vazios na posição A (nomeadamente os mais preservados dos efeitos de alteração, *e.g.* os pirocloros da amostra BLS-1).

A maior parte destes pirocloros têm teores relativamente baixos de Ta, embora variáveis de grão para grão: em alguns exemplares, observam-se maiores concentrações deste elemento no núcleo do cristal relativamente ao bordo, mas o contrário também pode ocorrer. Também em trabalhos de vários outros autores (Nasraoui & Bilal, 2000; Hogarth *et al.*, 2000; Hodgson & Le Bas, 1992) o Ta apresenta comportamentos diferentes na génese de pirocloros de diversos locais. Contudo, dada a razoável representatividade estatística das amostras do Bailundo e o facto de o Ta apresentar uma correlação muito boa com o U, em oposição ao Nb, sugerem que é provável que as concentrações deste elemento tendam a aumentar para a periferia dos cristais, em simultâneo com o Ti e Zr.

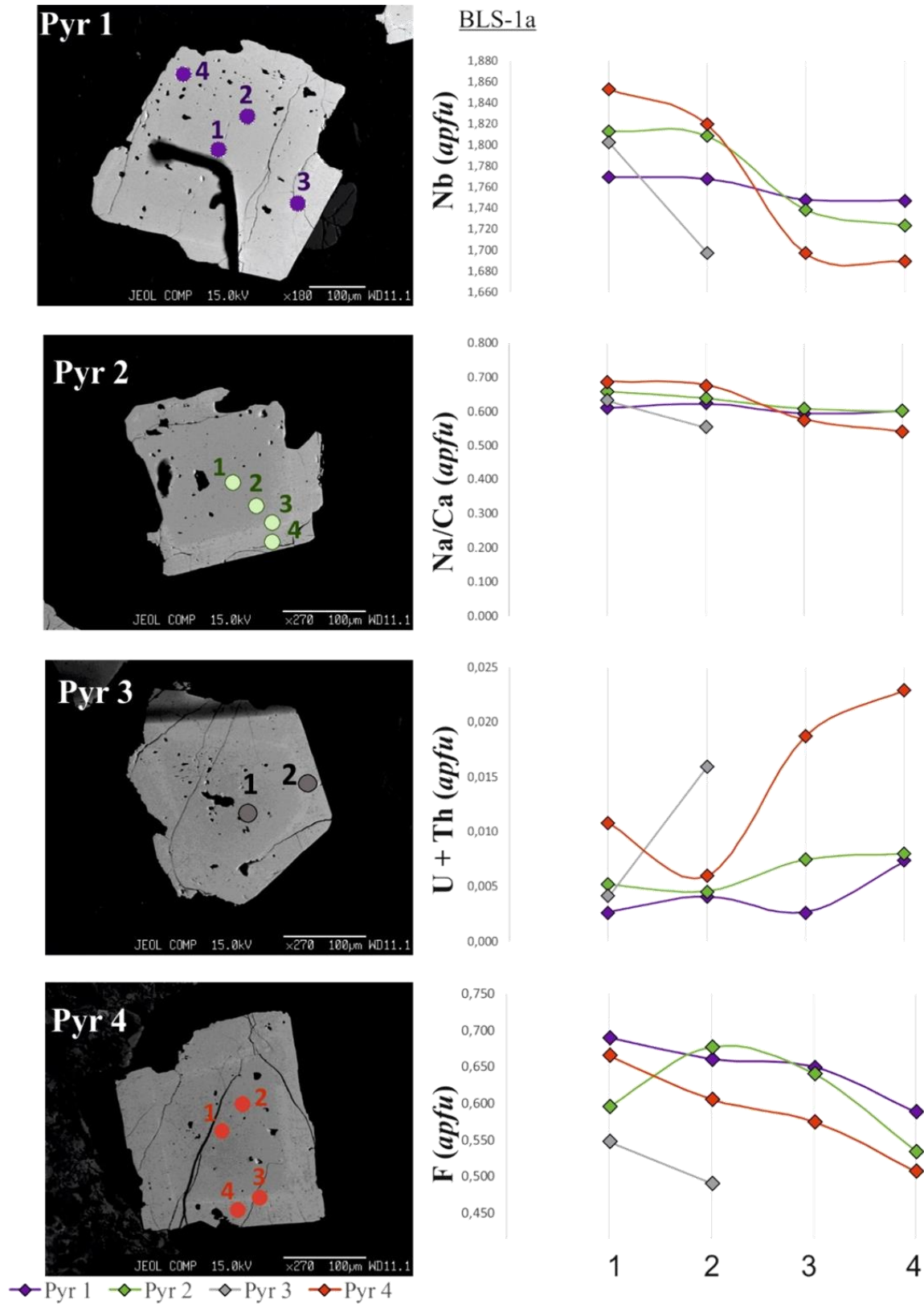


Figura VI.6- Zonização críptica em imagem de electrões retrodifundidos e perfis de variação intragranular para Nb, Na/Ca, U+Th e F em vários pirocloros bem zonados, pertencentes à amostra BLS-1a.

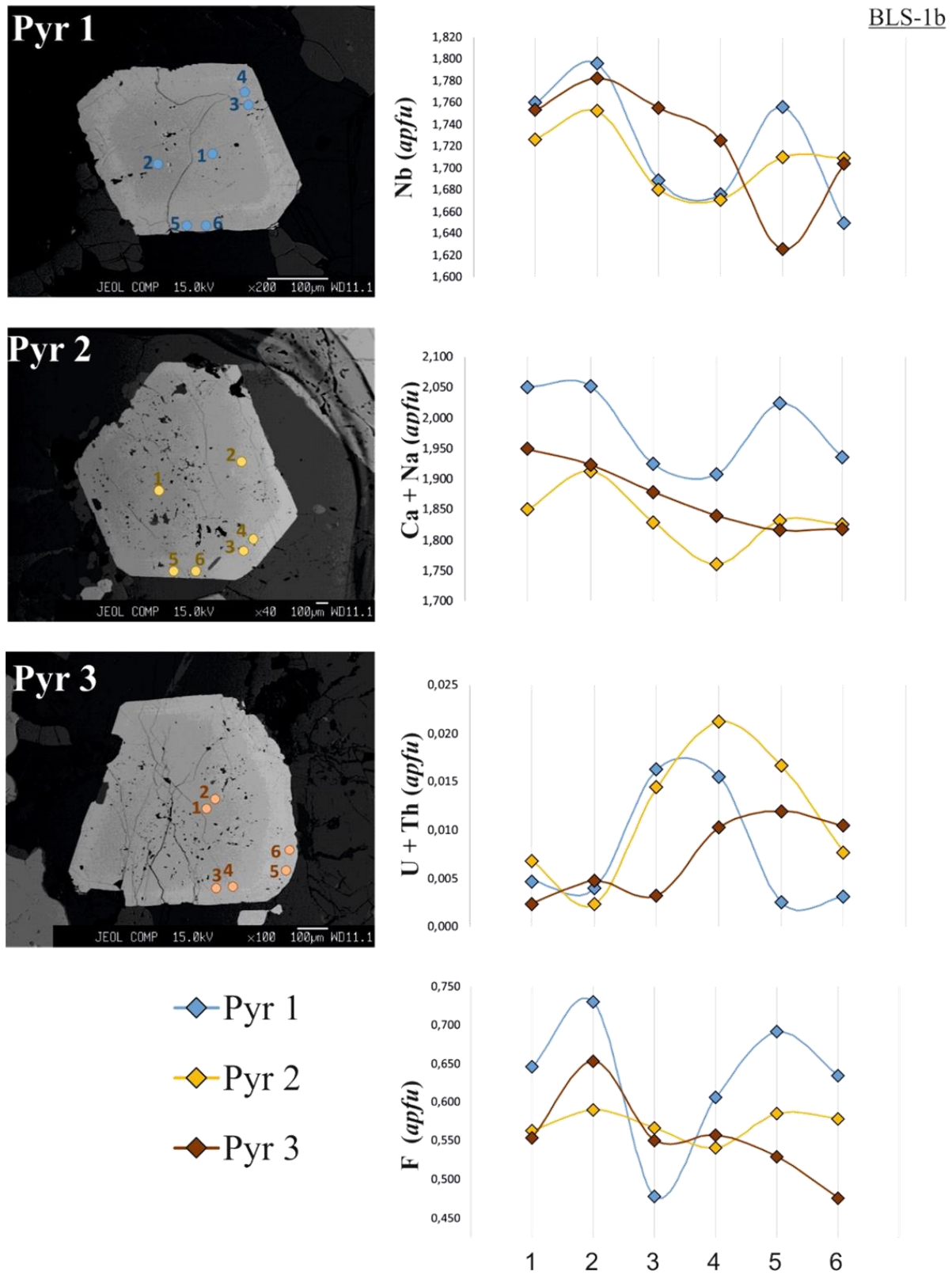


Figura VI.7- Zonação críptica em imagem de electrões retrodifundidos e perfis de variação intragranular para Nb, Ca+Na, U+Th e F em vários pirocloros bem zonados, pertencentes à amostra BLS-1b.

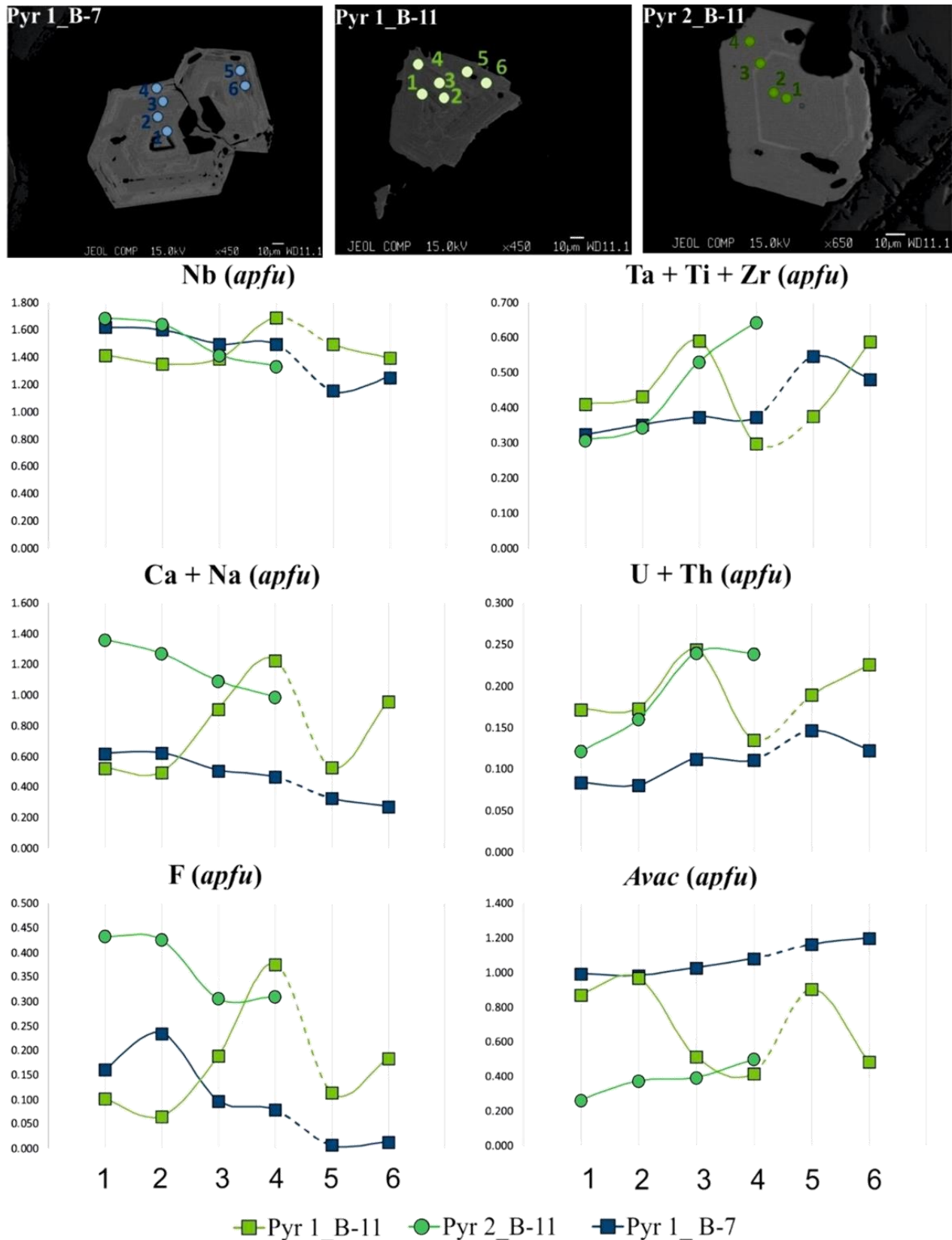


Figura VI.8 - Zonação críptica em imagem de electrões retrodifundidos e perfis de variação intragranular para Nb, Ta+Ti+Zr, Ca+Na, U+Th, F e lacunas na posição em vários pirocloros bem zonados, pertencentes às amostras B-5 (a), B-7 (b) e B-11 (c).

Não obstante a disparidade do comportamento do Ta e do Ca nesta e noutras ocorrências, todas as variações catiónicas observadas nos pirocloros do CCB que exibem zonamento primário confirmam o modelo proposto por McMahon & Haggerty (1979), que concluem que o Nb é fraccionado do líquido magmático numa fase inicial da cristalização, sendo gradualmente substituído por Ti, Zr e Ta na estrutura do mineral (embora por vezes se notem inversões destas tendências).

Assim, o zonamento primário (o melhor indicador genético sobre o crescimento dos pirocloros do Bailundo) não se confunde com as texturas resultantes dos processos posteriores a que o mineral foi sujeito.

As marcas de alteração presentes nos pirocloros dos **cálcio-carbonatitos profundos** retratam tanto os processos de meteorização química evidenciados pelas marcas de lixiviação/corrosão ao longo de fracturas, como os processos tardi-magmáticos metassomáticos/hidrotermais, retratados nas texturas difusas que afectam toda a superfície do mineral. Essas texturas difusas são bem visíveis nas imagens de electrões retrodifundidos, como as da Figura VII.9, onde se observam alguns grãos de pirocloros em carbonatitos com paragénese mineral típica do metassomatismo/hidrotermalismo no CCB (clorite + anfíbola + olivina) (Figura VI.1a e VI.1b), e pirocloros alterados em **glimeritos** (Figura VI.9c e VI.9d), que são aqui interpretados como produto de metassomatismo mantélico, provavelmente derivado de processos tardi-magmáticos.

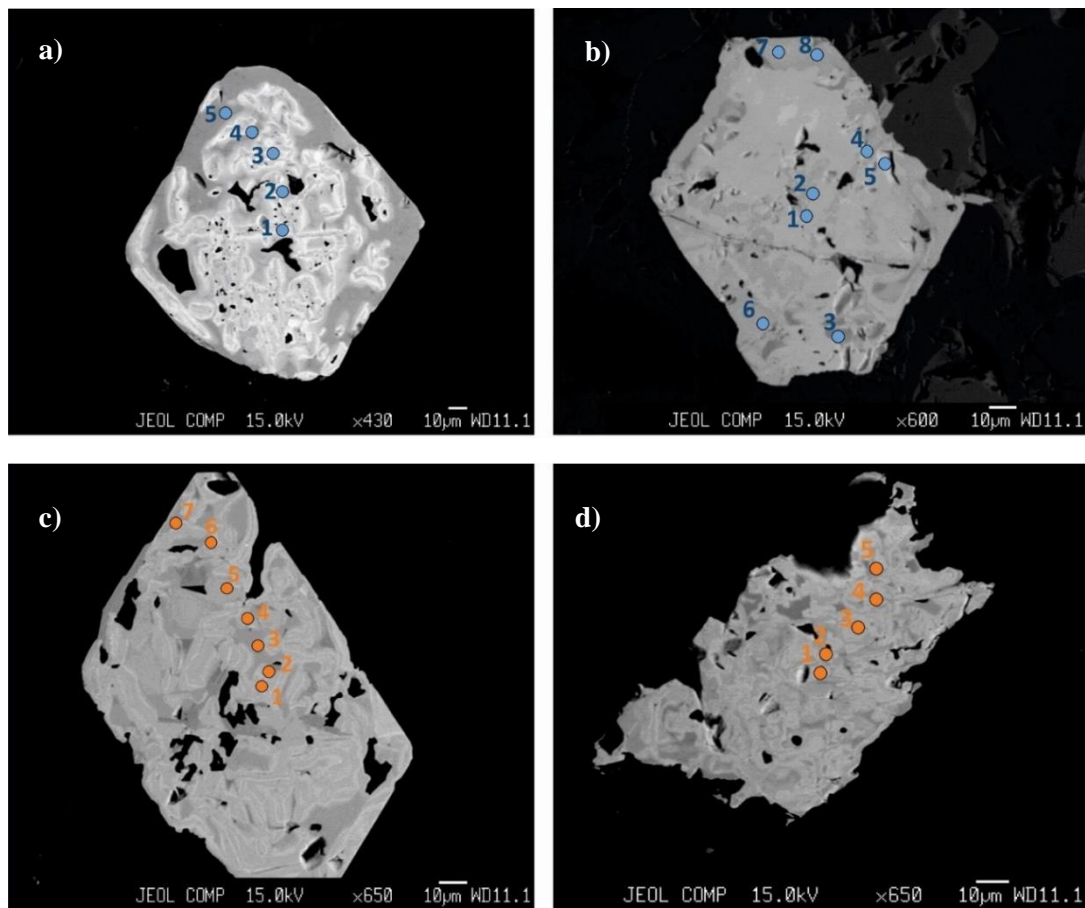


Figura VI.9- Zonação críptica em imagem de electrões retrodifundidos e localização dos pontos de análise em pirocloros com texturas muito difusas, das amostras B-1a (a), B-4b (b) e B-18 (c e d).

Contudo, nem todos os pirocloros que se encontram associados a estas litologias revelam efeitos de metassomatismo. As evidências do zonamento de crescimento podem ter sido obliteradas pelos efeitos metassomáticos/hidrotermais. Nas manchas de alteração destes cristais, observa-se um enriquecimento relativo em Ti, Ta e Zr, e um aumento da proporção dos vazios da posição A. As maiores concentrações em Nb, F, Ca e Na encontram-se nas zonas mais preservadas dos cristais.

A forte heterogeneidade composicional manifestada pelas rochas superficiais do Bailundo permitiu concluir (Santos, 2010) que, tanto os processos primários (*e.g.* fraccionação e acumulação de espinelas magnetíticas) como os processos metassomáticos/hidrotermais tardi-magmáticos foram posteriormente perturbados (por diversos eventos de meteorização química, que afectaram, com diferentes intensidades, a zona em redor do núcleo ferro-carbonatítico. Ao confrontar esta informação com os estudos efectuados nas diferentes fases minerais das litologias profundas, e com o trabalho de Pereira (2011), é possível inferir que as rochas aflorantes do CCB correspondem a um manto de alteração superficial, caracterizado pela formação de um conjunto de fases minerais tardias (como algumas espécies de pirocloro e fosfatos/flúor-carbonatos de ETR).

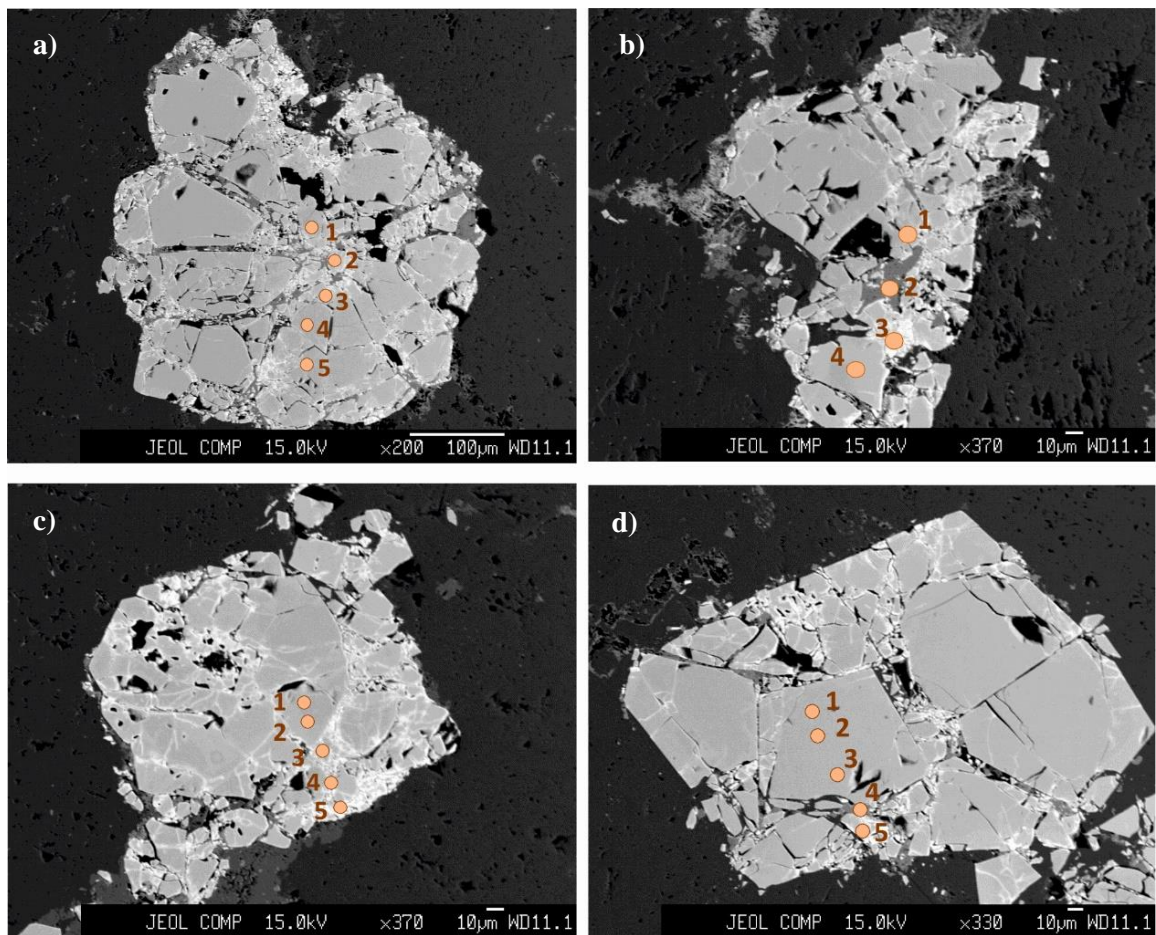


Figura VI.10- Imagens de electrões retrodifundidos, correspondente a pirocloros da amostra BLP-40, representativo do Fe-carbonatito, e respectivos pontos de análises; manchas brancas correspondem a zonas de lixiviação e manchas escuras aos óxidos-hidróxidos de Fe.

Os pirocloros que ocorrem nas amostras superficiais do **ferro-carbonatito** não apresentam qualquer zonamento concêntrico de crescimento, o que indica uma composição relativamente homogénea. Contudo, estes pirocloros apresentam-se bastante fracturados, com marcas de alteração bastante descoradas ao longo

das fracturas (manchas esbranquiçadas nos pirocloros da Figura VI.10, *e.g.* ponto 3 do pirocloro b), ricas em Ba, Pb e com maior proporção de lacunas na posição **A**, mas empobrecidas em Ca, Na e F. Por vezes encontram-se fracturas impregnadas por oxi-hidróxidos de Fe (manchas mais escuras da Figura VI.10, *e.g.* ponto 2 do pirocloro b).

Os pirocloros superficiais pertencentes ao anel **cálcio-carbonatítico** não exibem todos o mesmo tipo de zonamento ou de texturas de alteração. Independentemente de pertencerem ao bordo W, NE ou SE desse anel, os pirocloros apresentam zonamentos distintos, o que pode indicar diferentes intensidades dos efeitos metassomáticos em torno do núcleo do CCB.

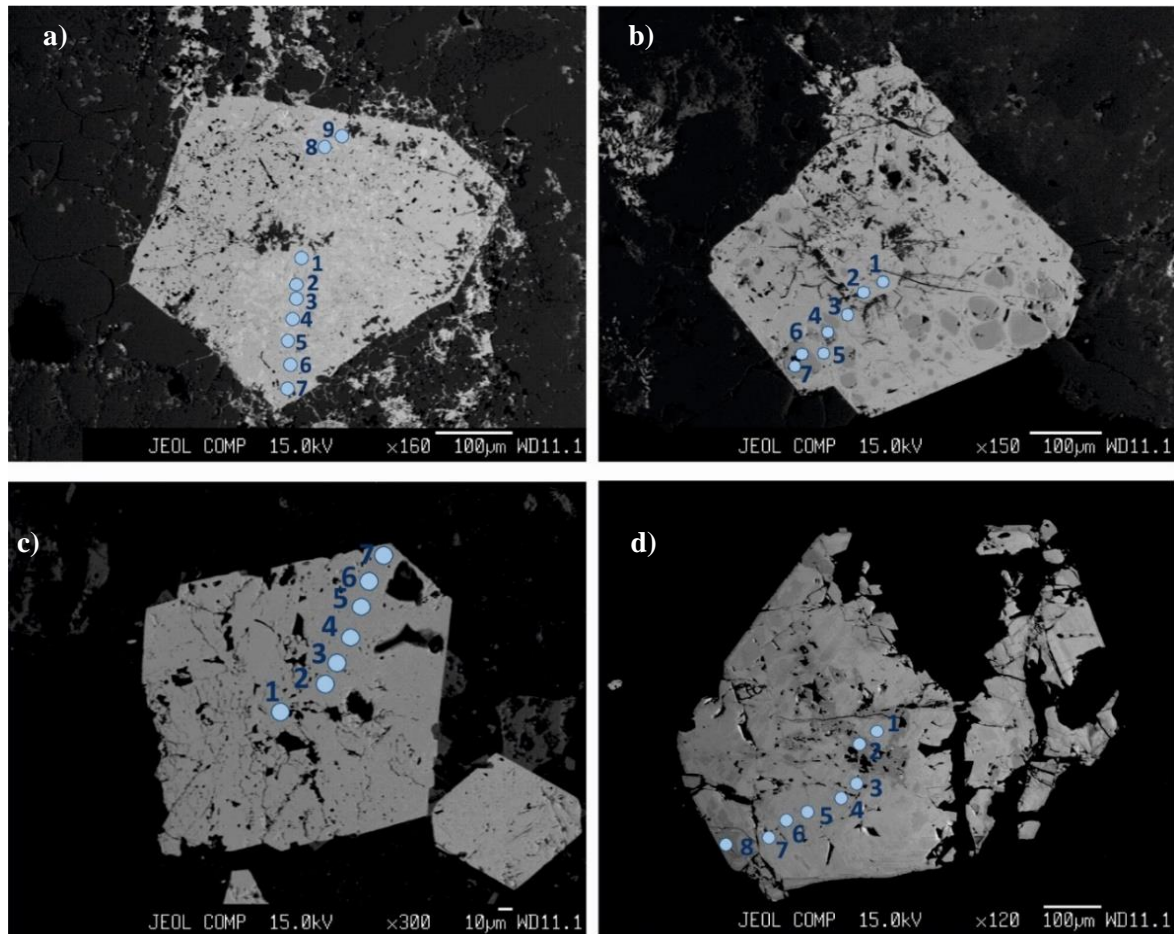


Figura VI.11-Imagens de electrões retrodifundidos, correspondentes a pirocloros da amostra BLP-5 (a e b) e BLP-6 (c) e BLP-29 (d), representativo do bordo W e NE do anel Ca-carbonatítico superficial, e respectivos pontos de análises, evidenciando o respectivo empobrecimento em Ca e enriquecimento em Ba.

No **bordo W** do anel sovítico, os grãos de pirocloro não alterados (mas muito fracturados) não apresentam zonamento concêntrico notável, evidenciando uma composição homogénea. Os pirocloros alterados exibem uma textura bastante heterogénea, com manchas irregulares enriquecidas em Ca e outras enriquecidas em Ba; opticamente, estas texturas são muito discretas, enquanto nas imagens de electrões retrodifundidos (em MSE) estão muito melhor assinaladas. Na Figura VI.11 observa-se algumas destas imagens, que evidenciam bem estes padrões de alteração, mostrando relíquias irregulares do pirocloro primário (*e.g.* Figura VI.11b), mais ricas em Ca, Na, F e O, envolvidas pelo pirocloro secundário, empobrecido nestes elementos e

enriquecido em Ba, Sr e OH^- e com maior proporção de lacunas na posição **A**. Os catiões da posição **B** mantêm-se essencialmente constantes nestes processos de alteração, apenas com pequenas oscilações nos seus teores.

Em relação ao **bordo NE** do cálcio-carbonatito, embora os pirocloros se encontrem muito fracturados (por vezes apenas se observem fragmentos), muitos deles apresentam as texturas de crescimento bem preservadas, observáveis apenas em imagem de electrões retrodifundidos. Opticamente, observam-se apenas as zonas mais alteradas. Os pirocloros com texturas mais complexas manifestam as mesmas substituições catiónicas na posição **B** do que os pirocloros do bordo W do anel cálcio-carbonatítico; como se pode verificar na Figura VI.11d, a zona mais escura do cristal (ponto 2), apresenta maiores concentrações de Ca e F, por oposição ao Ba, Sr e às lacunas estruturais. Na porção homogénea do cristal, a mais alterada, os teores de Ba são relativamente elevados; contudo, não excedem os valores de Ca.

O cálcio-carbonatito do **bordo SE** contém pirocloros composicionalmente bastante uniformes (Figura VI.12), mas afectados por pequenas fracturas corroídas por manchas descoradas muito enriquecidas em Ba, Pb, Sr e OH^- (e.g. Figura VI.12c, ponto2) e com elevada proporção lacunar na posição estrutural **A**. Em contraste, a zona não alterada dos cristais apresenta maiores concentrações em Ca e F. A única variação química verificada nos catiões da posição **B** é um decréscimo pouco acentuado em Nb, compensado por um leve aumento em Ti e Zr, da porção homogénea para as zonas de lixiviação. Da perspectiva composicional, tanto a parte homogénea como as manchas ao longo das fracturas destes pirocloros revelam muitas semelhanças na composição química com os pirocloros do ferro-carbonatito.

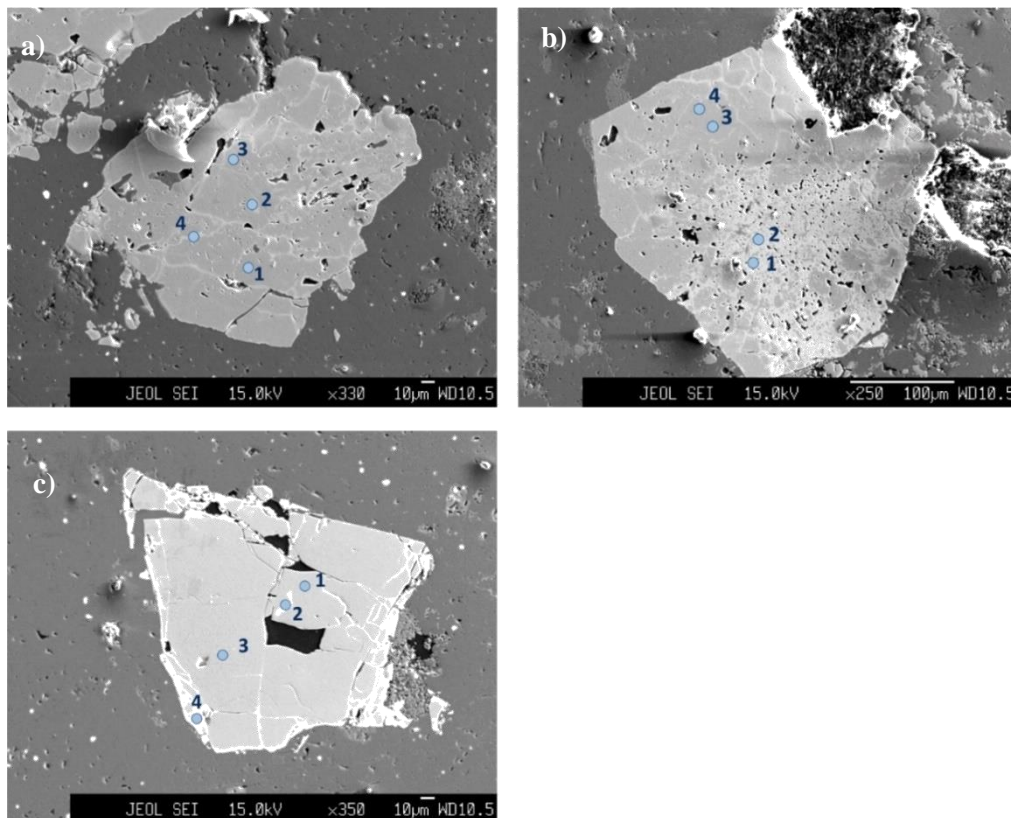


Figura VI.12- Imagem de electrões retrodifundidos, correspondente a pirocloros da amostra BLP-39, representativos do bordo SE do anel Ca-carbonatítico superficial, e respectivos pontos de análises.

Neste estudo verificou-se que os efeitos de alteração secundária nos pirocloros são heterogêneos nas várias zonas amostradas em torno do núcleo cálcio-carbonatítico. As proporções dos cátions da posição **B**, contudo, não mostram variações significativas em função das texturas de alteração do mineral.

Nos **fenitos**, os pirocloros não alterados desenvolvem um zonamento concêntrico críptico, pouco realçado na Figura VI.13, mais escuro no centro e mais claro nos bordos; no microscópio petrográfico tais texturas não são observadas, parecendo tratar-se de cristais composicionalmente homogêneos. Do núcleo para a periferia dos cristais zonados, constata-se que os cátions da posição **B** apresentam concentrações relativamente constantes, com uma diminuição muito pouco acentuada do Nb e Ti em direcção ao bordo, concomitante com um aumento de Ta e Zr. As variações mais significativas na composição destes pirocloros centram-se nas trocas catiónicas da posição **A** e na sua correlação com o F. A variação elementar decorre assim numa diminuição progressiva de Ca, Na, K, Y e F, com o incremento de Th, U, ETR, Sr, Ba e da proporção lacunar na posição **A**. Em alguns cristais observam-se pequenas zonas irregulares mais claras, indicativas de alteração, (*e.g.* Figura VI.13a, ponto 4, embora pouco visível na imagem), que revelam uma diminuição em Ca, F e Y, e um aumento em Th, Ce, Sr, Ba e nas lacunas na posição **A**.

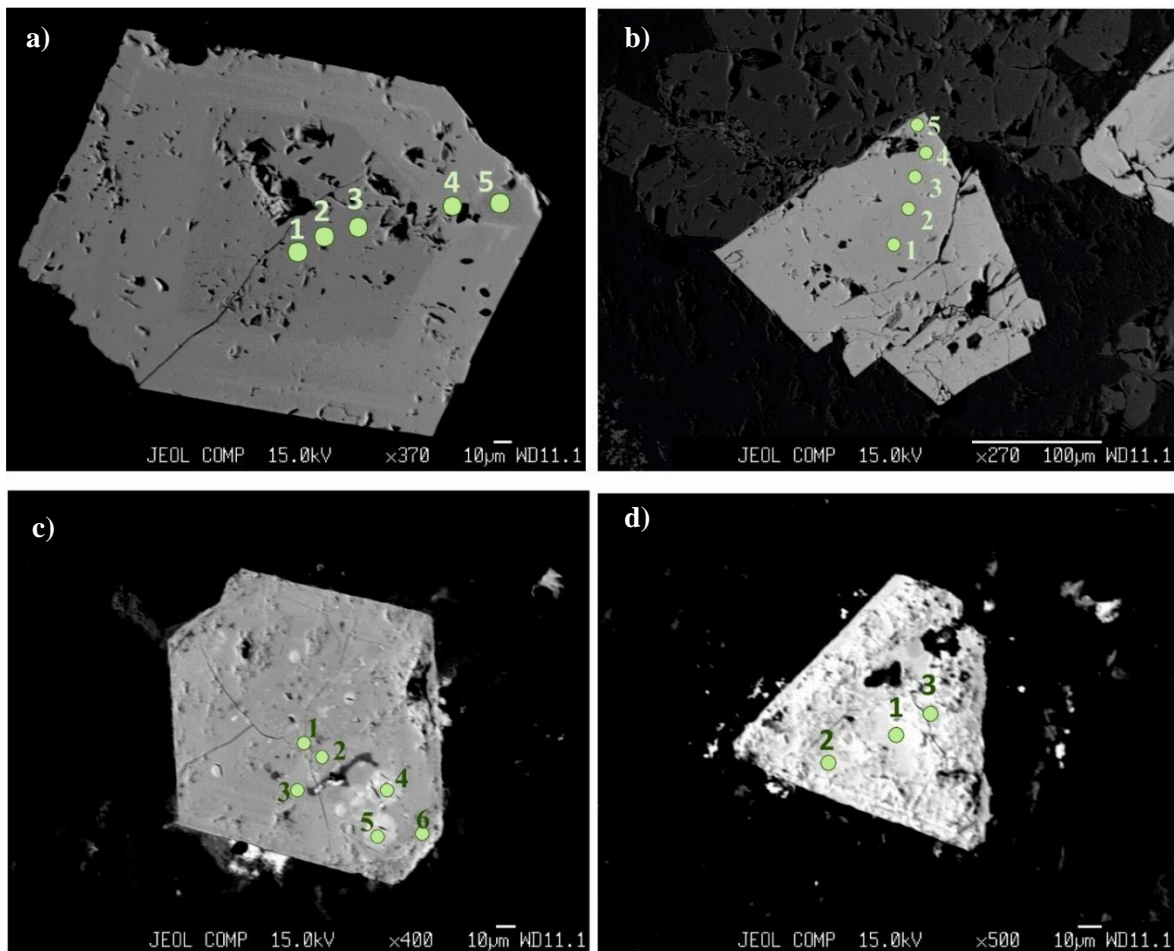


Figura VI.13 -Imagens de electrões retrodifundidos, correspondente a pirocloros do fenito NE, onde se observam pirocloros muito preservados da amostra BLP-31 (a e b) e os pirocloros bastante alterados da amostra BLP-32 (c e d), e respectivos pontos de análise.

Os pirocloros alterados pertencentes ao fenitos, apesar de exibirem uma superfície expressiva de alteração extrema, apresentam variações químicas semelhantes à dos pirocloros não alterados; contudo, há várias diferenças, nomeadamente em relação à concentração em Ta ($>Ti$ e Zr) e U ($> Th$). Este aspecto completamente alterado é apenas visível nas imagens de electrões retrodifundidos, enquanto nas fotomicrografias (Anexo IV e Estampa IIF) se observam apenas diferenças no núcleo (muito escuro) em contraste com a periferia (muito mais clara). As principais alterações na sua composição continuam a ocorrer efectivamente ao nível dos catiões presentes em A e nas posições aniónicas. Assim, observa-se um aumento em Ca, e U do centro para a periferia do mineral, enquanto os teores de Nb, Ta, Ti, Zr, Th, Ba, Pb, F e a proporção de lacunas na posição A se mantêm. Nestes cristais observam-se por vezes zonas mais descoradas (Figura VI.13c no ponto 4; o 5 não deve ter incidido nessa mancha), enriquecidas em U, Ce, K e em O, embora a variação química nestas manchas seja pouco significativa.

VII. Discussão

VII.1. Pirocloro como indicador petrogenético

De um modo geral e interpretando toda a informação sobre a química mineral e as características cristaloquímicas dos pirocloros do Bailundo, é possível tirar várias ilações sobre o seu desenvolvimento e evolução face aos diferentes processos a que foram sujeitos, registados essencialmente na sua composição específica, e correlacioná-la com esses diferentes eventos. São comuns, nos pirocloros do CCB, substituições na posição catiónica **A** e nos grupos aniónicos; o incremento do défice em elementos como Ca e Na, facilmente remobilizados, é concomitante com a entrada de elementos de maior potencial iónico (*e.g.*, U e Th), e/ou com a hidratação do mineral. As variações observadas nos catiões da posição **B** (essencialmente Nb, Ti, Ta e Zr) não mostram evidências de se deverem a modificações tardias. Embora a mobilidade destes elementos dependa bastante das características do sistema em que se inserem, o Nb, Ti, Ta e Zr são tendencialmente imóveis, não sendo removidos facilmente da estrutura do pirocloro. Assim, o empobrecimento em Nb nas zonas periféricas dos cristais de pirocloro, compensado por enriquecimento relativo em Ti, Ta e Zr, não se deve a processos de remobilização, mas sim a variações progressivas das respectivas taxas de fraccionação a partir do líquido parental, ou a processos metassomáticos em condições muito específicas.

Com a intrusão carbonatítica formaram-se os **pirocloros primários** (magmáticos), essencialmente flúor-cálcio-pirocloros ou hidroxí-cálcio-pirocloros. Muitos destes pirocloros podem apresentar um zonamento concêntrico muito bem delimitado ou não ser zonados, e não evidenciam transformações tardias; estes minerais apresentam, por norma, teores relativamente baixos em Nb, OH⁻, Ba, Pb, Sr e ETRP (Tb), e baixa proporção de lacunas na posição **A**, em comparação com os pirocloros de superfície, mas concentrações elevadas de Ca, Na, F, Th, U e ETRL (Ce e Nd).

Por acção dos processos metassomáticos/hidrotermais que ocorrem em profundidade, presumivelmente derivados de eventos tardi-magmáticos, os pirocloros tendem a mostrar o decréscimo dos valores em Nb, Na, Ca e OH⁻, emparelhado com um aumento relativo em Ti, Ta, Zr, U e Th. Em estudos efectuados por Gieré (1990) em zirconolites, allanites, titanites e rútilos, foi possível verificar a mobilidade de elementos como Ti, Zr e ETR (juntamente com U, Th e Y) ao interagirem com fluidos metassomáticos e hidrotermais ricos em K, CO₂, PO₄³⁻ e F. Estes metais são posteriormente depositados em minerais metassomáticos devido a mudanças na temperatura e na composição do fluido; tanto o incremento da salinidade dos fluidos metassomáticos, por contacto com a rocha encaixante, como o decréscimo de temperatura no espaço e no tempo podem causar sobressaturação em compostos pouco solúveis com um potencial iónico alto, resultando na sua precipitação. Também a diminuição da actividade de ligandos no fluido, pela cristalização de minerais hidratados é susceptível de conduzir à deposição destes elementos.

No Bailundo, o enriquecimento em Ti, Zr, U, Th e ETR nos **pirocloros metassomatizados**, caracterizados pelas texturas complexas e difusas que obliteram os zonamentos de crescimento, pode dever-se à circulação de fluidos hipogénicos com uma composição semelhante à proposta por Gieré (1990). Se for este o caso, a presença de CO₂ relaciona-se com os processos tardi-magmáticos ou com possíveis reacções entre o fluido e o carbonatito, enquanto a fonte mais provável de PO₄³⁻ e F são as flúor-apatites (analisadas em Pereira, 2011) e talvez pirocloros primários ricos em F, abundantes tanto no cálcio-carbonatito como nos glimeritos. A remobilização de Ti, Zr, U, Th e ETR pode ainda ocorrer, não só nos pirocloros, mas também noutros minerais, como por exemplo nas flogopites e nas clorites (ferri-clinocloro). Segundo Pereira (2011), existem ainda fases minerais titanadas (com quantidades traço de Th, Ce e Nd) que ocorrem como inclusões ou

preenchendo microfraturas em alguns grãos de apatite ou de óxidos (*e.g.* espinelas ferríferas) e minerais de Zr (como a baddeleíte) associados frequentemente a pirocloros; estes minerais tardios podem constituir possíveis sumidouros destes metais, corroborando a hipótese do seu transporte pelos fluidos descritos anteriormente.

O enriquecimento relativo em Ti nos bordos dos pirocloros magmáticos, como explicado, não se deverá a contaminação por parte destes fluidos tardios, mas ao decréscimo progressivo da razão Nb/Ti durante a cristalização dos pirocloros a partir do líquido parental, como se ilustra no diagrama da Figura VII.2.

Na literatura referente a estudos sobre a diversidade química e evolução de pirocloros de diferentes complexos carbonatíticos, vários autores propõem ideias sobre as possíveis substituições nas diferentes posições estruturais do pirocloro. As mais importantes, coerentes com as variações químicas observadas nos pirocloros do Bailundo, e passíveis de explicar a formação de pirocloros com maiores concentrações em U e Ti, podem ser expressas pelos seguintes esquemas de substituição:

- (1) $Ca^{2+} + 2Nb^{5+} \leftrightarrow U^{4+} + 2Ti^{4+}$ (Hogarth, 1989)
- (2) $2Ca^{2+} \leftrightarrow U^{4+} + \square^A$ (Kasputin, 1980 in Zaitsev *et al.*, 2012; Hogarth, 1989)
- (3) $Na^+ + 3Nb^{5+} \leftrightarrow U^{4+} + 3Ti^{4+}$ (Hogarth, 1989; Horne, 1989)
- (4) $Na^+ + Ca^{2+} + Nb^{5+} \leftrightarrow U^{4+} + Ti^{4+} + \square^A$ (Kasputin, 1980, in Zaitsev *et al.*, 2012)

A equação (4) é talvez a expressão que melhor representa as variações catiónicas (nas posições **A** e **B**) entre os pirocloros primários e os pirocloros metassomatizados; Zaitsev *et al.* (2012) formularam uma substituição mais completa, englobando os grupos aniônicos:

$$(5) Na^+ + 0.5Ca^{2+} + Nb^{5+} + O^{2-} + F^- \leftrightarrow 0.5U^{4+} + Ti^{4+} + 2(OH)^- + \square^A$$

Esta última equação é provavelmente a que melhor reproduz as substituições inter-elementares que os pirocloros do CCB sofreram durante os eventos metassomáticos e hidrotermais tardi-magmáticos. Contudo, não foram tidos em conta alguns elementos, como o Th^{4+} e o Zr^{4+} , que são possivelmente introduzidos na estrutura do mineral em simultâneo com o U e o Ti. Assim, verifica-se uma possível modificação de alguns flúor-cálcio-pirocloros para hidroxí-cálcio-pirocloros, provocada pelos processos de alteração metassomática ou hidrotermal tardi-magmática. Isso significa que poderão existir duas populações de hidroxí-cálcio-pirocloros, de origem i) primária (magmáticos), ou ii) metassomática, resultantes da substituição de F por OH⁻.

No trabalho de Pereira (2011) é sugerido que as diferentes gerações de magnetite, em conjunto com os veios preenchidos por calcite tardia, indicam dissolução do carbonato primário de natureza anquerítica, em condições de decréscimo da pressão parcial de CO₂ ou da pressão confinante, durante eventos de alteração hidrotermal/meteorica, ou derivada do aumento da actividade do O₂ durante a ascensão do magma carbonatítico. Assim, a intrusão carbonatítica pode causar o aumento das fases voláteis ricas em fluidos aquosos durante as etapas tardias da cristalização, uma maior actividade do O₂ em níveis mais altos da câmara magmática e a diminuição súbita da pressão (Pereira, 2011). Como descrito em Lapidou Loureiro (1995), o metassomatismo (finitização) nas rochas encaixantes da intrusão carbonatítica do Bailundo atingiu grande intensidade, desencadeando processos de remobilização de sílica e suscitando a circulação de fluidos hidrotermais nas rochas aflorantes. Estas frentes metassomáticas ou de silicificação sucederam-se concêntricamente da periferia para o núcleo do carbonatito, gerando o zonamento químico-mineralógico do Bailundo atrás descrito. Apesar de se observarem evidências destes processos nas diferentes rochas

aflorantes do CCB, os pirocloros dessas rochas não revelam as texturas complexas e difusas nem as composições (sobretudo no que respeita ao U e ao Th, praticamente inexistentes nestas ocorrências de superfície) dos pirocloros que sofreram metassomatismo em profundidade. Considerando os estudos efectuados no CCB, é assim possível afirmar que o anel sovítico deverá corresponder a uma orla metassomática desenvolvida em torno do núcleo ferro-carbonatítico; posteriormente a estes eventos metassomáticos de superfície, sucederam-se vários ciclos de meteorização química, nomeadamente oxidação muito intensa (denunciada pela presença de maghemite, hematite e goethite) e dissolução de várias fases minerais, nas litologias superficiais.

Os processos de alteração superficial em regiões intertropicais húmidas dependem essencialmente do clima e da arquitetura geológica; as fortes precipitações e amplitudes térmicas em conjunto com as estruturas confinadas limitam fortemente a drenagem e, conseqüentemente, a acumulação de água pluvial. Assim, a alteração das rochas em níveis superficiais e sub-superficiais é acelerada e acentuada, levando à formação dos mantos de alteração tipicamente observados em complexos carbonatíticos (Lapido Loureiro, 1995).

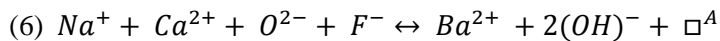
A meteorização química superficial polifásica de que resultou o manto de alteração do CCB desencadeou importantes variações composicionais nos pirocloros destas rochas, nomeadamente a substituição de Ca, Na, U, Th e ETRL por Ba, Pb, Sr, ETRP, na posição *A*, o aumento de lacunas nesta posição, e a substituição de F e O²⁻ por OH⁻, embora não se verifiquem mudanças significativas relativamente aos elementos imóveis. Estas alterações decorrem essencialmente da acção de fluidos meteóricos tardios relativamente aos processos metassomáticos/hidrotermais, e responsáveis por reacções de dissolução, hidratação, oxidação-redução e hidrólise. Todos estes processos ficam registados no mineral como evidências de corrosão/lixiviação no bordo ou ao longo de fracturas, ou através da presença de relíquias inclusas em alguns cristais. É necessário referir que a nítida depleção em U que se verifica nos pirocloros das rochas aflorantes, relativamente aos pirocloros das rochas carbonatíticas mais profundas, poderá dever-se aos processos metassomáticos descritos por Gieré (1990) ou à oxidação a que os pirocloros superficiais estiveram sujeitos; como explanado no Capítulo 6, quando o U transita para o estado hexavalente, fica propenso a formar o ião uranilo, muito móvel, migrando facilmente da estrutura do mineral.

As diferenças composicionais observadas nos pirocloros das várias litologias aflorantes no CCB permitem inferir que a alteração superficial não actuou com a mesma intensidade em torno do anel sovítico, nem no núcleo ferro-carbonatítico; no anel de fenitização, o pirocloro é muito raro, apenas encontrado nas amostras pertencentes/adjacentes à zona de transição com os cálcio-carbonatitos a NE. Verificam-se ainda variações composicionais nos pirocloros devidas a processos localizados de dissolução, seguidos de reprecipitação, e registados de maneira diferente nestas litologias.

Os pirocloros do bordo W (hidroxi-báriopirocloros), do bordo NE e do bordo SE (hidroxi-cálcio-pirocloros) do anel sovítico apresentam os maiores teores em Ba, Pb, Sr, ETRP (Tb) e em iões OH⁻, embora com diferentes proporções catiónicas em cada litologia, por oposição aos pirocloros do núcleo ferro-carbonatítico e das rochas feníticas (hidroxi-cálcio-pirocloros), que apresentam maiores concentrações de Ca, Na e F. Assim, é plausível inferir que os eventos de alteração secundária que afectaram os pirocloros superficiais suscitaram processos de dissolução parcial dos flúor-cálcio-pirocloros e re-precipitação de hidroxi-cálcio-pirocloros enriquecidos em Ba e Pb (no núcleo ferro-carbonatítico, no bordo NE e SE do anel sovítico e na faixa de transição para as rochas feníticas) ou hidroxi-báriopirocloros em casos mais particulares da meteorização (no bordo W do anel sovítico). Estes processos não afectam os elementos da posição *B*. No

núcleo ferro-carbonatítico, além de indícios da dissolução e recristalização de pirocloro (*s.l.*), verifica-se a acumulação de oxi-hidróxidos de Fe, cimentando fracturas no mineral.

O esquema geral de substituição multi-elementar aproxima-se da equação estabelecida por Zaitsev et al. (2012) para a transição dos cálcio- para os báriopirocloros (Figura VI.4), embora incompleta relativamente à migração de outros elementos também móveis (*e.g.* a incorporação de Pb em quantidades apreciáveis):



Outros autores (como Lumpkin & Ewing, 1995; Nasraoui & Bilal, 2000; Zurevinski & Mitchell, 2004; e Torró *et al.*, 2012) sugerem a elaboração de diagramas ternários que relacionam Ca e Na (os cátions primários bivalentes e monovalentes tipicamente mais abundantes) e a proporção de lacunas na posição A, de modo a compreender o trajecto da evolução dos pirocloros em função do grau de meteorização ou metassomatismo que sofreram. Projetando os pirocloros do Bailundo nesses diagramas ternários (Figura VII.1), é possível verificar duas tendências principais, nomeadamente uma primeira etapa em que o Na é preferencialmente lixiviado em relação ao Ca, e uma segunda fase em que o Ca é mais intensamente lixiviado, em função do aumento da proporção de vazios estruturais na posição A. Estas tendências foram também registadas nos trabalhos realizados pelos autores acima citados.

A lixiviação de Na e Ca acompanha geralmente a hidratação do mineral, a qual causa um aumento na proporção dos vazios estruturais da posição A e a libertação de F, por vezes acompanhados de expansão da estrutura cristalina do pirocloro. Estas modificações podem facilitar a incorporação de elementos com maior raio iónico, como Ba, Pb e Sr. Como referido anteriormente, a meteorização, e consequentemente os processos de remobilização química, não incidiram com igual intensidade nas rochas superficiais do CCB.

Nos bordos NE e SE do anel sovítico encontram-se as rochas feníticas periféricas, formando uma estrutura passível de controlar o armazenamento/circulação dos fluidos meteóricos, enquanto no bordo W não se verifica contexto semelhante. Assim, é possível sugerir algumas hipóteses sobre a introdução de Ba (\pm Pb \pm Sr) na composição do pirocloro em eventos de hidratação intensa. Os pirocloros do bordo W são euédricos e encontram-se pouco fracturados, o que pode indicar um ambiente calmo, em condições propícias aos processos de dissolução e recristalização total ou parcial dos minerais secundários. Os pirocloros dos bordos NE e SE localizam-se em estruturas presumivelmente pouco confinadas susceptíveis a maiores taxas de drenagem, encontrando-se muito fracturados, com indícios de re-precipitação pouco acentuada ao longo de veios e fracturas, o que pode indicar um ambiente mais turbulento, com passagem contínua dos fluidos meteóricos, motivando remobilizações cíclicas dos elementos mais móveis, entre os quais o Ba. No bordo SE os pirocloros apresentam indícios da alteração secundária, nomeadamente em zonas de lixiviação e corrosão em torno de fracturas, com maiores teores em Pb e Ba. Relativamente ao bordo NE, os pirocloros encontram-se muito fracturados, por vezes só se observam clastos, mas observam-se evidências do zonamento de crescimento e a sua composição é próxima dos pirocloros primários; é então possível afirmar que estes pirocloros podem ter sido exumados de níveis mais profundos em eventos tardi-magmáticos e que os agentes meteóricos responsáveis pela sua alteração não os afectaram com a intensidade observada nos restantes bordos do anel sovítico.

Os pirocloros do núcleo ferro-carbonatítico também evidenciam variações na ocupação da posição A, como as observadas no anel sovítico, essencialmente em zonas de corrosão e ao longo de fracturas, embora com menores teores em Ba e Pb; por outro lado, estes pirocloros apresentam maiores teores em Ca, Na e F. Uma vez que este núcleo corresponde a um morro gerado por erosão diferencial, deduz-se que a migração dos

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

fluidos por escorrência superficial ou através de discontinuidades rochosas seja rápida, não causando, portanto, alterações significativas no mineral. Por outro lado, e como verificado anteriormente, é também possível que as frentes de alteração tenham ocorrido do anel litológico periférico para o núcleo ferro-carbonatítico, perdendo progressivamente intensidade, e não conduzindo às mesmas modificações nos pirocloros das diversas zonas.

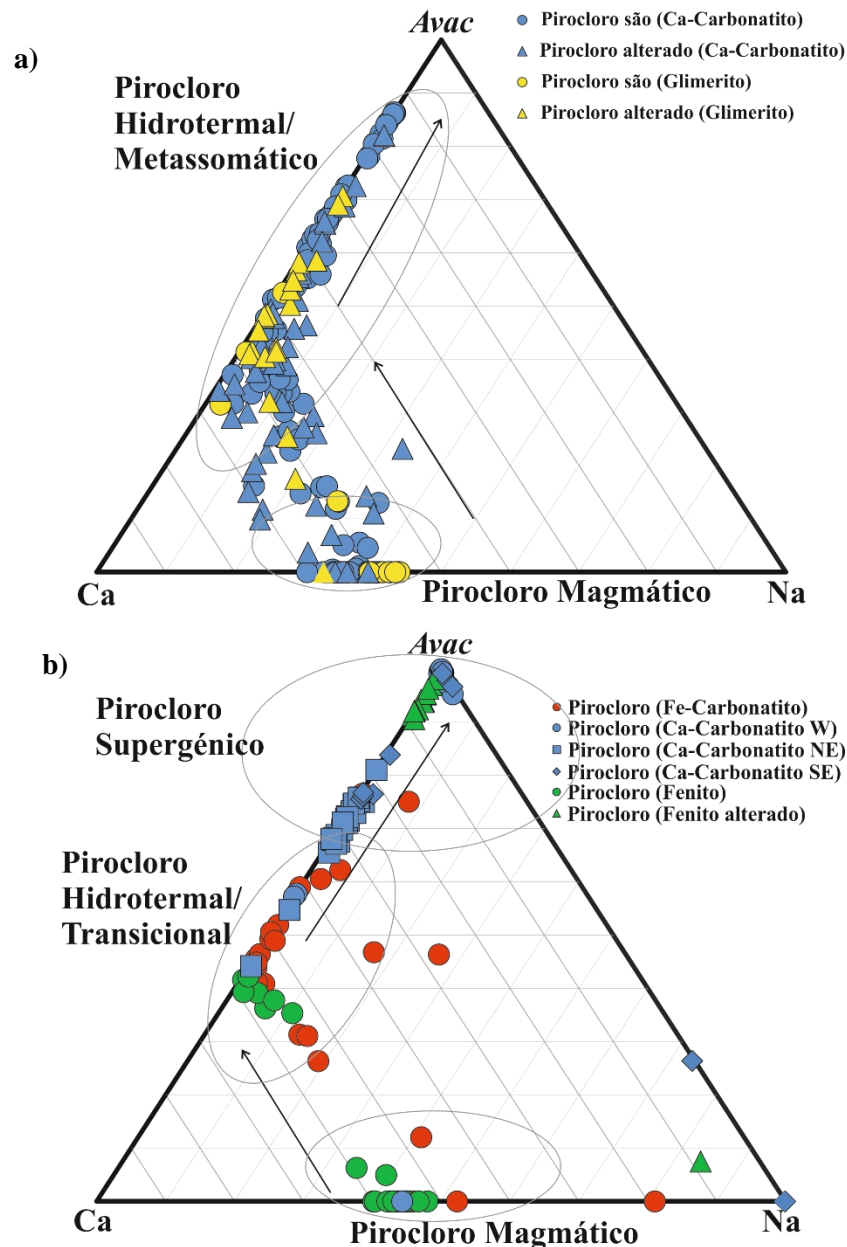


Figura VII.1- Diagrama ternário (Ca-Na-Avac, apfu) referente à evolução do pirocloro do Bailundo (da a) sondagem; b) rochas superficiais), proposta por Lumpkin & Ewing, 1995; Nasraoui & Bilal, 2000, entre outros. Os vectores de alteração apontam para a composição dos pirocloros primários, hidrotermais e supergênicos.

Uma vez que o núcleo do CCB apresenta uma rede hidrográfica exorreica, é possível inferir que os diferentes estados de alteração dos pirocloros do núcleo ferro-carbonatítico e do anel sovítico se devem ao controlo estrutural condicionado essencialmente pelas colinas feníticas envolventes.

Nas amostras do anel fenítico os pirocloros são pouco abundantes, ocorrendo apenas em algumas do bordo NE, próximo do contacto com o cálcio-carbonatito. Encontram-se duas populações diferentes de pirocloro, nomeadamente hidroxi-cálciopirocloro (que exhibe zonamento primário) e hidroxi-uranopirocloro (com aspecto mais corroído), de acordo com os critérios definidos em Atencio et al. (2010). O estudo da química mineral evidenciou diferenças entre estas duas espécies de pirocloro, particularmente nos hidroxi-uranopirocloros, com valores sensivelmente mais elevados em U, Th, Ta, Ti, Zr e maior proporção de lacunas catiónicas na posição **A** em comparação com os hidroxi-cálciopirocloros (estes com maiores teores em Nb, Ca, Na e F) e com as restantes litologias aflorantes. Estas diferenças composicionais podem indicar diferentes estádios do processo de fenitização, ou processos de alteração subsequentes contemporâneos da remobilização de sílica. Enquanto a concentração mais elevada de Ta em alguns pirocloros dos fenitos pode ser indicadora de circulação de fluidos relacionados com a instalação polifásica das diferentes unidades que compõem o CCB, a presença de valores muito elevados em U na posição **A** dos pirocloros mais alterados dos fenitos poderá indicar um enriquecimento deste componente durante etapas subsequentes da alteração metassomática, uma vez que não se verifica nesta população de pirocloros o habitual enriquecimento em metais pesados mais móveis (Ba, Sr e Pb) concomitante da lixiviação intensa de Ca e Na na posição **A**, típicos da alteração supergénica.

Como sugerido em Pereira (2011), o enriquecimento em Ba que ocorre nos pirocloros das várias litologias superficiais do CCB será resultado da dissolução de barite e de feldspatos, observada nas várias litologias aflorantes, enquanto o enriquecimento em Pb terá derivado de eventuais sulfuretos de Pb (embora não observados nas amostras).

Apesar das substituições químicas resultantes dos processos de alteração supergénica, os metais da posição **B** dos pirocloros mantêm-se, efectivamente, imóveis, ou seja, não foram afectados por esses processos. Esta imobilidade dos constituintes da posição octaédrica face à meteorização química é uma constante observada por vários investigadores que têm efectuado estudos sobre a variabilidade química do pirocloro (*e.g.* Lumpkin & Ewing, 1995; Nasraoui & Bilal, 2000; Zurevinski & Mitchell, 2004; Torró *et al.*, 2012). É de salientar que, de um modo geral, os pirocloros superficiais alterados contêm maiores teores em Nb do que os pirocloros magmáticos ou metassomatizados, em profundidade. Embora esta constatação seja pouco discutida na literatura, parece incontestável que a alteração superficial é responsável pelo enriquecimento relativo em Nb nos pirocloros do manto de alteração do CCB. Os processos hidrotermais que ocorreram na superfície do Bailundo podem ter actuado de um modo efectivo na remobilização tardia de Ti (\pm Zr) para zonas mais profundas, percolando fracturas e falhas, o que poderá também explicar o défice em Ce, U (\pm Th) nas rochas aflorantes. Esta hipótese poderá ser válida caso estejam reunidas as condições propostas por Gieré (1990), com a dissociação de pirocloros primários, apatites e carbonatos, que contribuem para o aumento de CO_2 , PO_4^{3-} e F no fluido. (Figura VII.2).

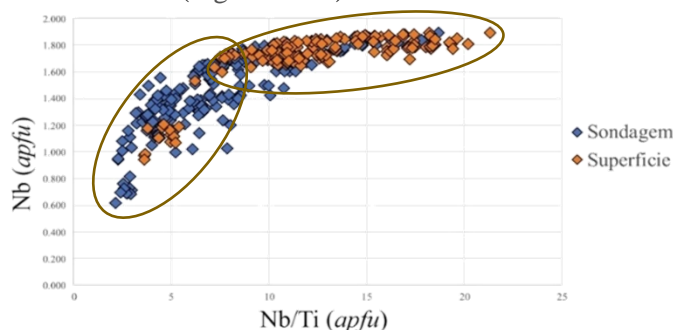


Figura VII.2- Gráfico da correlação entre Nb versus Nb/Ti, representando as variações na fraccionação destes elementos durante a formação e a alteração dos pirocloros do CCB.

VII.2. Pirocloro como indicador metalogenético

A acumulação de metais raros, sob a forma de depósitos de enriquecimento residual ou supergénico, em sistemas carbonatíticos depende essencialmente das características geomorfológicas e climáticas e da acção dos processos de meteorização nesses complexos; estas condicionantes são particularmente importantes na concentração de minérios de Nb, ETR e P.

O CCB apresenta uma estrutura circular fechada, limitada pelos anéis feníticos sobreelevados, com drenagem muito limitada. Protegidos da erosão pelos anéis periféricos, geram-se mantos eluvionares (morfo-climáticos) de cobertura, favoráveis à acumulação dos minerais mais resistentes (alguns pirocloros e apatites) ou de neoformação (pirocloros secundários ou fosfatos e flúor-carbonatos de ETR), como descrito por Lapido Loureiro (1995), ao comparar o CCB com os complexos de Canata, em Angola, ou de Araxá, Catalão I e Tapira, no Brasil. Outro processo de concentração de pirocloro a considerar é a desagregação mecânica das rochas hospedeiras, dada a resistência mecânica destes minerais durante o transporte; muitas destas concentrações selectivas acumulam-se no sopé dos carbonatitos, denominando-se depósitos morfo-gravimétricos (Lapido Loureiro, 1995).

Uma vez que os carbonatos são sensíveis aos agentes meteóricos, os eventos de dissolução intensa da matriz carbonatítica podem originar fendas, cavidades e, em casos extremos, carsificações. Os minerais mais resistentes aos processos de dissolução tendem a acumular-se nestas descontinuidades e são, posteriormente, cimentados pela recristalização dos carbonatos previamente dissolvidos. Há relatos, em Lapido Loureiro (1995), da existência deste tipo de bolsões preenchidos com grandes concentrações de pirocloro, no carbonatito de Bonga, em Angola, sendo plausível a sua ocorrência noutros complexos, como o CCB.

O maior jazigo de **Nb** no mundo situa-se em Araxá, no Brasil, onde o minério é pirocloro (mais precisamente báriopirocloro) no centro do complexo carbonatítico do Barreiro. Este depósito, com morfologia sub-circular com cerca de 4,5 km de diâmetro, apresenta um doma carbonatítico (essencialmente dolomítico) protegido da erosão por um anel de quartzitos sobreelevados, o que contribuiu para a formação de um espesso manto de cobertura. Em profundidade (em furos de sonda e frentes de lavra) foram identificadas litologias ultramáficas exóticas como glimeritos, beforzitos, foscoritos e lamprófiros. A intrusão de Araxá provocou ainda efeitos de metassomatismo alcalino nas rochas encaixantes. Neste complexo observa-se ainda como mineralogia acessória ao pirocloro (já mencionado), barite, monazite, badeleiíte, norsethite (carbonato de Ba) e gorceixite (fosfato de Ba). É de salientar que foram os processos meteóricos que geraram a alteração e migração/neoformação de vários elementos que deram origem às concentrações significativas de Nb, P, Ba e ETR. Assim, verificam-se várias semelhanças litológicas entre o depósito de Araxá e o complexo carbonatítico do Bailundo. Os estudos de Santos e Beleque (2010) sobre as composições dos carbonatitos do CCB revelaram anomalias em Nb₂O₅ com valores medianos de 0.52 wt% no núcleo ferro-carbonatítico (atingindo máximos de 2.2 wt%) e 0.2 wt% nos cálcio-carbonatitos, ainda que inferiores aos observados por Issa Filho et al. (2001), que descreve concentrações médias de 1.5 wt% nas rochas primárias e 2.5 wt% no minério residual, no manto de alteração de Araxá.

Ao comparar os pirocloros dos dois depósitos, verificam-se várias semelhanças mineralógicas, nomeadamente i) o enriquecimento relativo em Nb durante a meteorização química (preservando as propriedades físicas dos cristais), ii) a substituição progressiva do pirocloro primário por báriopirocloro, sobretudo ao longo de fracturas no mineral, e iii) teores muito semelhantes dos elementos principais nos

báriopirocloros do depósito de Araxá (Issa Filho *et al.*, 2001) e nos pirocloros do anel sovítico do CCB, com Nb = 63.42 – 66 wt%, Ba = 10.91 – 16.51 wt%, ETR (total) = 1.62 – 4 wt%.

Verificadas as semelhanças entre os pirocloros de Araxá e do Bailundo, é possível deduzir que os baixos teores observados no estudo de Santos e Beleque (2010) se devem presumivelmente à baixa acumulação de pirocloro neste Complexo. Em locais pouco constrangidos estruturalmente, os pirocloros do núcleo ferro-carbonatítico e do anel sovítico sujeitos aos agentes de meteorização poderão eventualmente dar origem a depósitos de vertente (morfo-climáticos e morfo-gravimétricos) em torno do núcleo do CCB, limitado pela cadeia fenítica periférica (Figura VII.3).

No bordo W do anel sovítico, onde ocorrem os hidroxi-báriopirocloros, não existe barreira fenítica, o que promove a remobilização dos minerais para os solos colúvio-eluvionares. As inundações torrenciais cíclicas que afectam estes depósitos são susceptíveis de aumentar a sua concentração relativa em pirocloro (primário alterado ou secundário); também em Araxá se extrai báriopirocloro dos solos lateríticos/ferralíticos envolventes do núcleo carbonatítico.

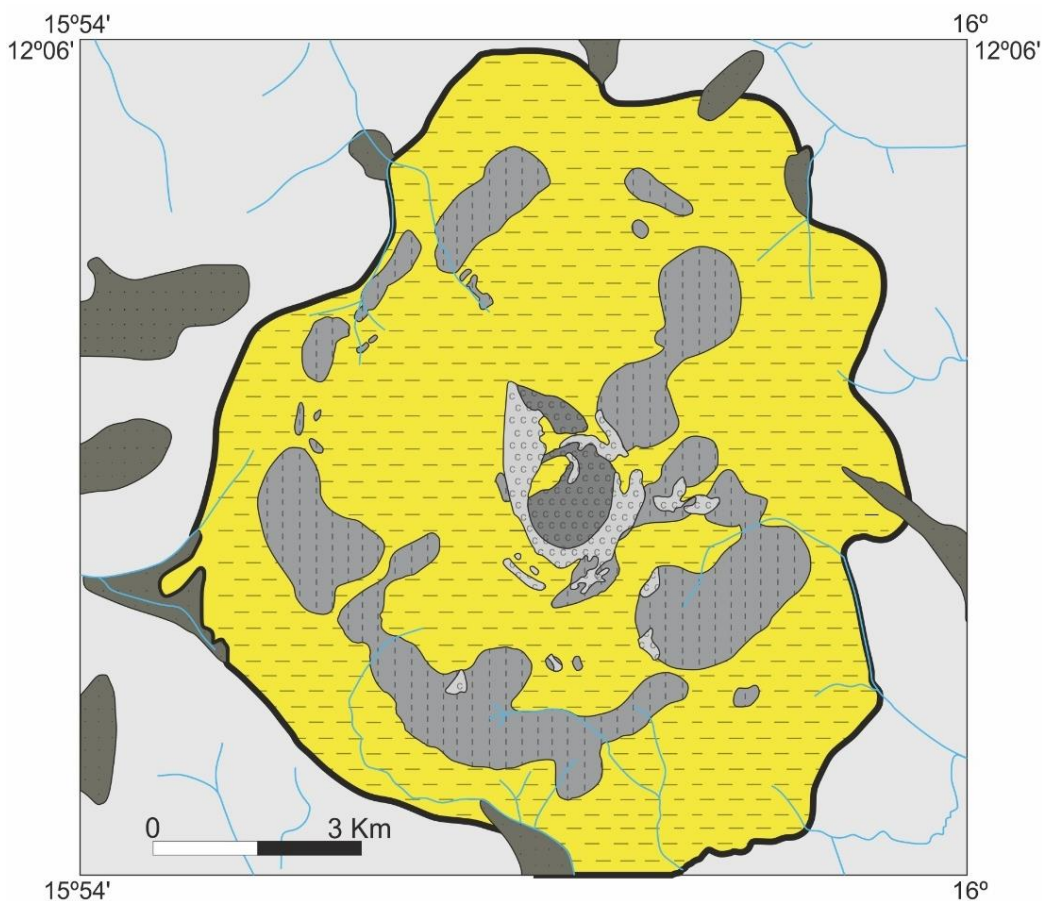


Figura VII.3- Mapa representativo do depósito colúvio-eluvionar, susceptível a enriquecimento residual.

Em profundidade, o pirocloro pode também constituir minério, como é o caso de Saint Honoré – Quebec, no Canadá; embora o teor deste minério seja bem inferior ao de Araxá (0.69% Nb₂O₅ de acordo com Lapido Loureiro, 1995), o pirocloro apresenta elevadas concentrações em Nb (\bar{x} = 64.16 wt %, Mackay & Simandl, 2015). Não obstante o pirocloro mais profundo do CCB não apresentar teores tão elevados em Nb, a sua

presença e concentração nas rochas não meteorizadas poderá viabilizar o Bailundo como um corpo carbonatítico mineralizado em pirocloro com interesse económico.

No núcleo ferro-carbonatítico do CCB ocorreram várias explorações no passado ao minério de **Fe**, que se apresenta essencialmente sob a forma de bolsões, diques e veios de magnetite (variavelmente oxidada) resultante da segregação magmática (Lapido Loureiro, 1995) devida aos eventos tardi-magmáticos descritos por Pereira (2011), já enunciados anteriormente. Todos estes processos tiveram também efeito noutros minerais, como o pirocloro, em níveis mais superficiais. Recapitulando as características dos pirocloros pertencentes ao núcleo ferro-carbonatítico, é de salientar que, embora muito fracturados (com óxidos-hidróxidos de Fe a preencher/selar fracturas), apresentam composições químicas muito semelhantes às composições primárias, com altas concentrações de F, Ca e algum Na, apesar de alguma lixiviação de U e Th, (Figura VII.1 e VII.4); as baixas concentrações de Ba podem dever-se a ausência de fontes locais deste elemento verifica-se, no entanto, um enriquecimento em Pb. Também se observam estas tendências nos pirocloros na fronteira com os fenitos no bordo NE, embora com maiores teores em Th e Na, mas menor proporção de lacunas na posição A e Ba e Pb inexistente (Figura VII.4). Assim, é possível inferir que o pirocloro do Bailundo poderá ser um guia de prospecção para mineralizações de Fe maciças em contextos carbonatíticos semelhantes aos do Bailundo.

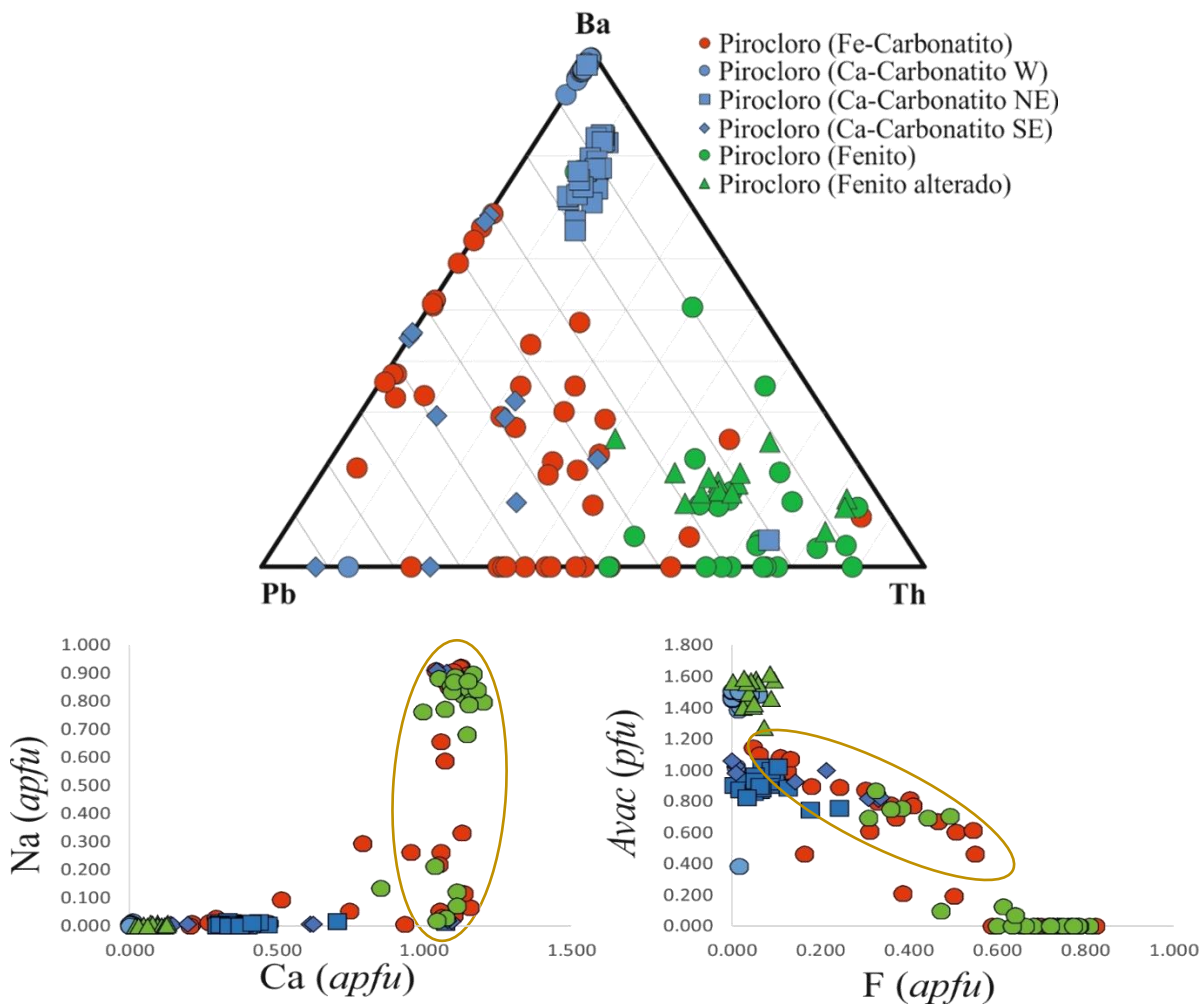


Figura VII.4- Diagrama ternário com composições entre Ba-Pb-Th e gráficos de concentração elementar Na vs Ca (apfu) e Avac vs F (apfu), discriminativos das amostras de Fe-carbonatito e fenitos em relação às restantes rochas aflorantes do CCB.

Os pirocloros superficiais que apresentem uma composição semelhante aos pirocloros magmáticos ou dos fenitos aflorantes no bordo NE, mas que i) se situem no campo transicional dos diagramas ternários caracterizado pela perda de Na + Ca associada ao aumento das lacunas estruturais (Figura VII.1), ii) apresentem valores de Pb e Ba moderados, essencialmente em zonas de lixiviação ao longo de fracturas nos cristais, mas conservando a sua estrutura primária (Figura VII.4a), e iii) apresentem valores baixos de Th e U (Figura VII.4a), podem ter sido modificados pelos processos que desencadearam a fraccionação da magnetite, e assim ser utilizados como indicadores da proximidade destas mineralizações de Fe. Os trabalhos realizados por Lapido Loureiro (1995) relatam também que minério de Fe do Bailundo se localiza não apenas no núcleo do CCB, mas também no depósito colúvio-eluvionar.

O estudo da química mineral dos pirocloros do CCB, descrito e discutido nos Capítulos VI.1 e VII.1, indica ainda que os pirocloros hospedados em rochas mais profundas ou em rochas superficiais menos alteradas apresentam os teores mais elevados U, F e ETRL (essencialmente Ce e Nd), enquanto os pirocloros superficiais mais meteorizados apresentam teores muito baixos nestes elementos. Lapido Loureiro (1995) refere que, segundo Mariano (1989), o pirocloro (em conjunto com a perovskite, os minerais de ETR e a torianite) é um dos mais importantes minerais de U-Th em rochas carbonatíticas, enquanto o mineral de flúor mais comum em complexos carbonatíticos é a fluorite (característica nos carbonatitos de Tchivira e Bonga), embora não tenha sido encontrada no Bailundo. Os dados de química mineral obtidos no presente trabalho sugerem que o pirocloro primário do Bailundo poderá ser uma fonte de F, U e ETRL na dinâmica deste sistema. Uma possível hipótese de sumidouros para estes elementos poderá ser a formação dos fosfatos (minerais do grupo da rabdofanite, com as variedades ricas em Ce e Nd), flúor-carbonatos (parisite e bastnäsite) e óxidos (cerianite) de ETR (enriquecidas em Th e U) descritos por Beleque (2010), formando disseminações matriciais tardias ou preenchendo redes anastomosadas de veios e filonetes, particularmente nos ferro-carbonatitos. Também em Araxá e Catalão I, parte do báriopirocloro é uranífero, embora a sua exploração se tenha revelado economicamente impossível; em Angola sabe-se da existência de fortes anomalias radiométricas em Bailundo, embora estas informações não estejam disponibilizadas (Lapido Loureiro, 1973).

O Ba do Bailundo encontra-se presumivelmente em barites e em hidroxibáriopirocloros secundários, que ocorrem como substituições tardias ou desenvolvendo-se de forma supergénica com enriquecimento residual. As anomalias de Ba são uma constante nos complexos carbonatíticos, tanto no Brasil como em Angola. Em Araxá, os pirocloros contêm, em média, 20% de Ba, constituindo, com a barite, reservas provadas deste metal (Lapido Loureiro, 1995). Em Angola registam-se ocorrências de bolsões quase monominerálicos de barite ou de báriopirocloro nos complexos de Coola e Virulundo (Lapido Loureiro, 1995). Como interpretado no Subcapítulo VII.1, a incorporação de Ba na estrutura do pirocloro em quantidades mais significativas ocorre ao nível do bordo W do anel sovítico, o que pode ser justificado pela sua diferente morfologia relativamente aos outros bordos, encaixados no anel externo; no caso deste bordo consistir numa zona pouco inclinada ou no sopé do morro central, rodeado do depósito eluvionar/coluvionar, o ambiente (mais calmo) poderá ser favorável à precipitação de Ba sob a forma de vários minerais, em concentrações consideráveis.

O Ti é também um elemento comum em carbonatitos, podendo a sua concentração ser, ou não, económica. Em Lapido Loureiro (1995) é enunciado que apenas os complexos carbonatíticos brasileiros hospedem mineralizações interessantes deste metal, embora de difícil extracção. O pirocloro do CCB não apresenta concentrações significativas neste elemento; contudo, há evidências da sua mobilização neste sistema, com a aparente remoção da estrutura de minerais magmáticos e precipitação em minerais de Ti tardios à intrusão

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

(*e.g.* anátase e rútilo), por acção de fluidos magmático-hidrotermais, como referido no Subcapítulo VII.1. No entanto a presença destes minerais não é abundante, e não há indícios da sua acumulação em quantidades significativas no carbonatito.

É necessário referir que estas deduções são ainda especulativas; é necessário prosseguir e aprofundar os estudos de carácter geoquímico e minero-químico do Complexo Carbonatítico do Bailundo, nomeadamente no que respeita à geoquímica dos solos colúvio-eluvionares, de modo a compreender melhor a dinâmica metalogenética e o potencial económico do CCB, nomeadamente na forma de depósitos de Nb (associado a outros metais menos abundantes) passíveis de exploração lucrativa.

A avaliação correcta de constituintes menores mas com alto valor comercial e a implantação de tecnologias minero-metalúrgicas apropriadas para a sua extracção e recuperação podem viabilizar os depósitos carbonatíticos, como co- ou subprodutos das mineralizações principais. Embora muitos destes afloramentos carbonatíticos hospedem enormes recursos, estes são frequentemente de difícil aproveitamento ou economicamente inviáveis (como o caso do minério de Ti em Tapira, sem tecnologia para o separar dos elementos radioactivos de acordo com as especificações internacionais; Lapido Loureiro, 1995), pelo que é imprescindível continuar os estudos relativos à extração e beneficiação de minério. A alteração e decomposição de minerais (como o pirocloro, barite, norsethite e apatite) nas minas de Araxá e Catalão I, por exemplo, conduz a acumulações económicas de minério residual friável, de fácil extracção e processamento, o que reduz consideravelmente os custos de exploração (Lapido Loureiro, 1995; Issa Filho et al, 2001).

VIII. Conclusões e Considerações finais

O Complexo Carbonatítico do Bailundo é constituído por várias unidades litológicas, as quais hospedem um vasto conjunto de mineralizações, entre elas de pirocloro (com estrutura $A_{2-m}B_2X_{6-n}Y_{1-w}$, descrita no Capítulo IV). Os pirocloros do Bailundo apresentam uma variabilidade composicional muito significativa, susceptível de modificações quando sujeitos a eventos metassomáticos ou hidrotermais tardi-magmáticos e de meteorização química, o que os torna bons indicadores petrogenéticos e metalogenéticos.

Com o estudo da química mineral do pirocloro do CCB é possível sumarizar algumas das suas características cristaloquímicas principais e deduzir várias hipóteses relativas à sua génese:

- (1) Os pirocloros magmáticos associados à intrusão carbonatítica localizam-se essencialmente nas rochas carbonatíticas frescas (mais profundas), e podem não apresentar zonamento ou apresentar zonamento concêntrico bem assinalado. O Nb é incorporado preferencialmente nos estados precoces da cristalização do pirocloro, verificando-se um decréscimo gradual da sua proporção em relação à de Ti ($\pm Ta \pm Zr$) na posição **B** da estrutura, durante o seu crescimento. Em relação aos catiões da posição **A**, verifica-se uma depleção de Na e Ca no bordo do mineral concomitante ao aumento em Th e U. Distinguem-se duas espécies de pirocloros magmáticos com base no grupo aniónico **Y**, nomeadamente flúor-cálciopirocloros (predominantes) e hidroxí-cálciopirocloros.
- (2) A circulação de fluidos tardi-magmáticos, presumivelmente simultâneos à génese das rochas glimeríticas, pode modificar composicionalmente estes pirocloros. Os zonamentos primários encontram-se frequentemente obliterados por texturas secundárias irregulares e difusas e as principais modificações composicionais correspondem a perda progressiva de Na e Ca em simultâneo do aumento das lacunas da posição **A** (Figura VII.1a). Como proposto no Subcapítulo VII.1, a interacção destes fluidos com os minerais da rocha encaixante pode suscitar um enriquecimento em CO_2 , PO_4^{3-} e F, e, consequentemente, a remobilização de Ti ($\pm Zr \pm Th \pm U \pm ETRL$) na estrutura do pirocloro. Pela acção destes processos, ocorre ainda a hidratação do mineral, em geral associada a perda de F, gerando os hidroxí-cálciopirocloros tardios (metassomáticos).
- (3) No manto de alteração superficial ocorreram vários eventos de meteorização química, condicionados essencialmente pelas características climáticas da região e pela geomorfologia do CCB (como descrito no Subcapítulo VII.2). As principais alterações observadas centram-se essencialmente nos catiões da posição **A** e nas posições aniónicas, registando-se um acentuado enriquecimento em Ba, Pb, Sr e ETRP, em simultâneo com o aumento das lacunas da posição **A** e hidratação do mineral, em contraste com a perda (por vezes total) de Na, Ca, Th, U e F. O empobrecimento em Na e Ca, correspondente ao aumento das lacunas catiónicas em **A**, é também demonstrado com o diagrama ternário utilizado na compreensão dos processos metassomáticos/hidrotermais (Figura VII.1b). A concentração total de metais na posição **B** mantém-se inalterada durante estes processos supergénicos. É de realçar que embora as trocas catiónicas em **A** sejam as mesmas, os processos de alteração supergénica não atingiram com a mesma intensidade as várias subunidades litológicas aflorantes do Bailundo; em certas zonas do complexo, alguns elementos de grande raio iónico (essencialmente o Ba, Pb e Sr) substituem quase totalmente os elementos primários da posição **A** (como no bordo W do anel sovítico), enquanto nas restantes litologias o Ca permanece o catião predominante. Nestes pirocloros observam-se (essencialmente em imagens de electrões retrodifundidos) relíquias inclusas no mineral ou zonas de lixiviação em torno de fracturas e bordos corroídos (*e.g.* Figura VI.11b) que sugerem uma substituição dos flúor- ou hidroxí-cálciopirocloros por hidroxí-báriópirocloros.

É também importante referir que predominam as formas euédricas ou subédricas nas diferentes espécies de pirocloro observadas, não obstante o padrão de fracturação dos cristais, o que pode indicar que os processos de substituição (de flúor-cálcio-pirocloros ou hidroxí-cálcio-pirocloros primários para hidroxí-cálcio-pirocloros secundários ou hidroxí-bário-pirocloros) consistem, efectivamente, em pseudomorfoses do mineral. De referir ainda que as substituições elementares mais importantes na estrutura do pirocloro, e resultantes de processos posteriores à sua cristalização, se centram essencialmente nos catiões da posição **A**, enquanto o conteúdo na posição **B** se mantém efectivamente constante (possivelmente com excepção do Ti e Zr), mesmo em condições supergénicas. Assim é possível inferir que os processos de alteração nos pirocloros no CCB não consistem na dissolução e reprecipitação do mineral (como sugere Pereira, 2011), mas em processos de substituição inter-elementar (parcial ou total), que afectam sobretudo a posição catiónica **A** e a aniónica **Y**, mantendo inalterada a super-estrutura **BO₆**, como sugere Atencio, et al. (2010).

Em relação a outros elementos menores na composição do pirocloro, é apenas necessário acrescentar que não foram observadas variações sistemáticas ou significativas na sua concentração. As diferenças na proporção de ETR consistem essencialmente em maiores concentrações em Ce e Nd nos pirocloros menos alterados e um enriquecimento relativo em Tb nos pirocloros afectados por processos metassomáticos e, sobretudo, supergénicos; estas variações podem dever-se ao empobrecimento em ETRL, e consequente enriquecimento relativo em Tb, causado pelos eventos tardi-magmáticos, por interacção com fluidos hidrotermais semelhantes aos descritos para os processos de remobilização de Ti. Esta hipótese é apoiada pela ocorrência de flúor-carbonatos de ETR magmático-hidrotermais e de fosfatos de Ce e Nd supergénicos (Beleque, 2010).

Assim, e de modo a responder a uma das problemáticas essenciais desta dissertação, é possível utilizar a química mineral de pirocloros do Bailundo como indicador petrogenético, em que: i) pirocloros primários com valores mais elevados em F, U, Th e na razão Na:Ca mas com valores relativamente baixos em Nb (em relação com Ti, Ta e Zr) pertencem a zonas profundas e pouco alteradas do carbonatito ou associados a algumas rochas glimeríticas; ii) pirocloros com evidências de terem sofrido processos metassomáticos ou hidrotermais encontram-se empobrecidos em Na, Ca e F, o que resulta num aumento relativo de U, Th, e também de maiores teores em Ti (com a razão Nb:Ti mais baixa), Ta e Zr; e iii) pirocloros superficiais com as evidências texturais da alteração supergénica descritas no Capítulo VI.2 apresentam os valores mais altos de Nb, Ba, Pb e ETRP (Tb) com valores praticamente nulos de F, U, Th, Ti, Ta, Zr e ETRL (Ce e Nd). Como referido anteriormente, os pirocloros encontrados nas rochas feníticas são aqui interpretados como minerais alóctones a esta litologia.

Os componentes considerados no diagrama ternário Ca-Na-Avac (proposto primeiramente por Lumpkin & Ewing, 1995; Figura VII.1) podem ser utilizados para distinguir os diferentes estados de alteração dos pirocloros, assistindo-se geralmente ao aumento da proporção de lacunas na posição **A** à medida que os processos pós-magmáticos progridem. Embora teores significativos de F, Ba, Pb, U, Th (e dos diferentes ETR) possam muitas vezes indicar o progresso de processos de alteração, não devem ser utilizados como indicadores do tipo de alteração do pirocloro em complexos carbonatíticos, uma vez que esse enriquecimento está directamente dependente da sua abundância e distribuição no sistema; contudo, podem ser discriminativos da intensidade da alteração dos pirocloros no Bailundo.

Na perspectiva da prospecção mineral, é também possível utilizar a composição específica do pirocloro para fornecer indícios de mineralizações economicamente rentáveis de exploração. No passado, a actividade mineira no CCB focalizou-se diversas vezes na extracção do minério de Fe, pelo que a principal matéria-

prima mineral provada e passível de ter exploração lucrativa neste depósito (pelo menos documentada). À semelhança das características particulares dos pirocloros das diferentes litologias, é também possível verificar algumas propriedades representativas dos pirocloros dos carbonatitos associados ao minério de Fe, nomeadamente a preservação de muitos dos elementos primários (*e.g.* Na, Ca e F), o enriquecimento geral em Pb e o preenchimento tardio de veios e fracturas por óxidos e hidróxidos de Fe (fotomicrografias da Figura VI.10 e diagramas da Figura VII.4). O enriquecimento relativo em Pb (\pm Ba) essencialmente nas zonas lixiviadas em torno dos veios e das fracturas destes pirocloros não se deve aos processos promotores da concentração de magnetite maciça, mas à alteração superficial que afectou todo o CCB. Em profundidade, os pirocloros não apresentam características particulares que sejam indício da proximidade dessa mineralização de Fe.

O estudo da química mineral do pirocloro sugeriu ainda algumas hipóteses plausíveis para uma modelação do depósito do Bailundo enquanto jazigo de mineralizações económicas de metais raros (com uma descrição mais detalhada no Subcapítulo VII.2).

Os teores em Nb são muito significativos, principalmente em rochas superficiais sujeitas a processos de alteração supergénica, no entanto, é necessário efectuar estudos mais detalhados e vocacionados para a análise estatística da distribuição em todo o CCB, particularmente nos depósitos colúvio-eluvionares, onde poderão concentrar-se quantidades significativas de pirocloro alterado, preferencialmente enriquecido em Nb (Figura VII.3). A dissolução matricial dos minerais carbonatados destes carbonatitos, seguida da acumulação residual de pirocloro, é também uma hipótese a considerar, uma vez que já foram descobertos bolsões destes em contextos semelhantes (*e.g.* as cavernas de Bonga, descritas em Lapido Loureiro, 1995).

A presença de Ba em concentrações consideráveis na estrutura do pirocloro (principalmente no bordo W do anel sovítico) poderá indicar uma elevada concentração deste elemento no CCB. Na literatura referente a depósitos carbonatíticos, o minério de Ba encontra-se sob a forma de barite, quase sempre associada aos báriopirocloros, desenvolvendo-se muitas vezes de forma supergénica ou em veios e substituições tardias fora dos complexos.

A depleção em F, U, Th e ETRL nos pirocloros primários produz fluidos enriquecidos nestes elementos, que posteriormente poderão vir a formar minerais tardios, eventualmente de interesse económico. Com os eventos tardi-magmáticos ou de alteração supergénica, acompanhados pela destabilização de pirocloros e outros minerais primários (como a apatite, a flogopite e minerais carbonatados), a remobilização destes elementos e a sua subsequente reprecipitação na forma de minerais tardios podem vir a produzir mineralizações interessantes. A presença dos minerais de ETR, detalhadamente estudados por Beleque (2011), poderá constituir um sumidouro para alguns destes metais, como enunciado no Subcapítulo VII.2. De notar também que é comum em carbonatitos a presença de fluorite, descrita em Lapido Loureiro (1995) como um mineral típico de veios anqueríticos com uma forte componente hidrotermal. Nos exemplos angolanos (Tchivira e Bonga) a fluorite está directamente associada a processos de silicificação tardios; contudo, nunca foi documentada a existência deste mineral no Bailundo.

Estas ideias são apenas especulações sobre possíveis concentrações minerais que podem futuramente corresponder a co- ou sub-produtos das explorações principais do Bailundo; as ocorrências minerais sem perspectivas económicas ou concentrações muito pouco significativas não foram aqui consideradas. É necessário um estudo exaustivo até à compreensão da dinâmica deste sistema carbonatítico, nomeadamente nos seus depósitos colúvio-eluvionares já referidos, onde podem ocorrer fases minerais exóticas e refinamentos/retrabalhamentos de teores em metais económicos por acção de processos de alteração

supergénica e de enriquecimento residual. Se as suposições aqui enunciadas se comprovarem em estudos futuros aplicados à prospecção e pesquisa mineral, o complexo carbonatítico do Bailundo poderá ser cenário de vários trabalhos de exploração e constituir uma fonte de abastecimento de uma grande variedade de metais. É imprescindível continuar a insistir no investimento do desenvolvimento tecnológico e investigação científica, de modo a rentabilizar o melhor possível este depósito mineral (visando sempre com a maior das considerações as condicionantes legais, sociais, logísticas e ambientais).

De notar ainda a grande acumulação de apatites, ricas em F (analisadas por Pereira, 2011), no CCB. Os processos de alteração supergénica nos carbonatitos, síncronos da destabilização dos carbonatos e silicatos, provocam um enriquecimento relativo em fósforo, que não migra; isto pode ser justificado pela apatite primária sofrer solubilização e recristalização, formando fosfatos secundários, uma vez que a presença dos iões PO_4^{3-} em perfis de meteorização pode servir como inibidor de lixiviação ou fixador de elementos móveis e facilmente solubilizados (Lapido Loureiro, 1995). De acordo com Issa Filho (1991), Bailundo é um dos complexos carbonatíticos mais ricos em P_2O_5 , e a descoberta de novas fases minerais fosfatadas não é impensável, principalmente nos depósitos de cobertura (à semelhança de Araxá e Catalão I), como por exemplo fosfatos secundários de Al com Ba, Fe, Sr e ETR ou até fosfatos de urânio. Assim, uma análise vocacionada das fases minerais fosfatadas do CCB (nomeadamente às diferentes gerações de apatite), poderá ser um estudo útil à compreensão da dinâmica dos processos petrogenéticos, de alteração e concentradores de minério, corroborando algumas das hipóteses sugeridas nesta dissertação.

É necessário referir que, nos gráficos de correlação multi-elementar (binários e ternários), a disparidade de concentrações em certos elementos pode-se dever à localização dos pontos de análise (por MSE) na superfície do cristal, principalmente perto de veios, filonetes e fracturas, preenchidos ou contaminados com outros minerais. Também por vezes não é fácil a distinção entre pirocloros primários e metassomáticos, através do seu padrão de zonamento.

Não obstante todas as ideias enunciadas nesta dissertação tenham sido inferidas sempre segundo um pensamento geológico com lógica ou apoio da literatura, há algumas considerações a expor, de modo a explicar algumas afirmações contraintuitivas aqui interpretadas, de modo a não gerar conceitos paradigmáticos:

- Os bordos NE e SE do anel cálcio-carbonatítico estão alojados nas rochas feníticas envolventes, que estão descritas na literatura como uma cadeia montanhosa sobrelevada. Este facto permite inferir que estas subunidades se encontram melhor confinadas estruturalmente, o que poderia promover a acumulação de fluidos meteóricos e, consequentemente, a lixiviação intensa e substituição elementar no pirocloro já descrita. No entanto, e de acordo com Lapido Loureiro (1995), a rede hidrográfica do CCB apresenta uma drenagem exorreica e, uma vez que as intrusões carbonatíticas estão muitas vezes delimitadas por sistemas de falhas circulares, associadas a densos padrões de fracturação, é plausível inferir que os fluidos meteóricos não se tenham acumulado, mas escapado por escorrência superficial ou percolação em fracturas. Esta hipótese é ainda corroborada com os dados da química mineral obtidos neste trabalho.
- Os clastos de pirocloro que se encontram no bordo NE podem não ter sido fragmentados durante os eventos tardi-magmáticos que os transportaram para a superfície, mas durante a meteorização química; se o confinamento estrutural gerar ambientes muito turbulentos, mas não conduzir a acumulação durante um período de tempo significativo, os grãos de pirocloro (primários) tenderão a quebrar, não afectando a sua composição química e preservando os zonamentos de crescimento. Contudo, os pirocloros do bordo

fenítico (embora nada fragmentados) também apresentam zonamento e composição química muito semelhante aos pirocloros magmáticos e aos pirocloros do bordo NE, o que pode indicar o transporte multifásico de pirocloros profundos para níveis mais superficiais, em eventos tardi-magmáticos. Também em Lapido Loureiro (1995) são enumerados depósitos minerais derivados de processos hidrotermais-pneumatolíticos dentro e fora dos complexos carbonatíticos.

- Caso o confinamento estrutural do bordo SE promova de facto a acumulação de fluidos aquosos, susceptíveis da alteração do pirocloro, é plausível afirmar que este tenha sofrido vários processos de lixiviação e substituição sucessivos, onde o baixo teor em Ba, e enriquecimento relativo em Pb seria justificado pelo início da alteração de hidroxi-báriopirocloros, com a depleção de Ba nas zonas mais corroídas. No entanto, nas zonas menos alteradas, apresentam valores consideráveis em Ca e Na, que são os elementos mais facilmente removidos da estrutura do pirocloro (como verificado nos diagramas da Figura VII.4). Assim, a hipótese mais verossímil é que os pirocloros do bordo SE definam uma fase transicional entre os pirocloros primários ou metassomáticos, e os pirocloros supergénicos, com a substituição gradual dos catiões da posição A por outros elementos móveis (primeiro por Pb e depois por Ba).
- Os pirocloros do bordo W do anel sovítico implicam um ambiente propício à acumulação de fluidos aquosos para a substituição extrema dos pirocloros do CCB. Uma vez que não existe um constrangimento estrutural verificado nos outros bordos, o nível desta unidade aflorante pode justificar-se por i) consistir na morfologia resultante dos eventos de erosão diferencial que modelaram o CCB; ou ii) uma possível zona de falha no lado W do núcleo ferro-carbonatítico, presumivelmente subvertical com abatimento do bloco W. A hipótese da falha parece menos plausível, uma vez que não se encontra documentada (nem em Lapido Loureiro, 1995, nem em relatórios técnico-ciêntíficos disponibilizados pela Genius Mineira Lda.).
- Os bolsões magnetíticos gerados pelos eventos explicados no Capítulo VII.1 e no trabalho de Pereira (2011) podem também ocorrer em níveis mais profundos; no entanto, não foi encontrado neste estudo os pirocloros característicos das proximidades da mineralização de Fe como os descritos no núcleo ferro-carbonatítico. A compreensão destes processos em profundidade e uma averiguação da utilização do pirocloro como guia de prospecção para a mineralização de Fe poderá ser deduzida com um estudo detalhado do testemunho da sondagem completa. Todavia, com a análise das amostras disponibilizadas é apenas possível verificar a hipótese da sua utilização como indicador metalogenético em níveis superficiais.
- As comparações efectuadas entre o CCB e o depósito de Araxá são feitas sempre de perspectivas extremamente optimistas, onde se salientam as principais semelhanças cronológicas, climáticas, estruturais, petrológicas e mineralógicas (*e.g.* a composição química dos pirocloros) entre os dois complexos. Contudo, há algumas diferenças entre eles, nomeadamente particularidades do depósito brasileiro, que podem justificar as concentrações anómalas de minério de Nb. No Araxá a intrusão carbonatítica intersectou e fenitizou uma sequência de rochas metassedimentares, concebendo um arqueamento destas litologias, dando origem a uma estrutura em doma, da qual resta um anel de quartzitos onde se observam fracturas concêntricas e radiais (uma descrição mais detalhada deste afloramento e o seu mapa geológico consultam-se nos trabalhos de Filho, 2001, e de Lapido Loureiro, 1995). Esta edificação em anel protegeu as rochas carbonatíticas da erosão, contribuindo assim para a formação de um manto de cobertura muito espesso (com média de 80 m, e máximo de 230 m de altura). Ao contrário do que sucede no Bailundo, o carbonatito principal não se encontra alojado na estrutura periférica. Este conjunto de características, juntamente com os processos meteóricos, pode ser o principal

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

factor do enriquecimento residual das mineralizações de pirocloro (em concentrações elevadas). Com a circulação controlada de fluidos em níveis superficiais e subsuperficiais, este depósito poderá estar susceptível a um retrabalhamento e refinamento bastante eficiente do minério.

Uma nota sobre a importância dos jazigos carbonatíticos como fonte de Nb sob a forma de pirocloro na economia mundial deve ainda ser aqui relatada. O mercado do Nb é controlado pelos seus únicos produtores, sendo as cotas de mercado controladas pelo principal fornecedor; assim, os preços são essencialmente ditados pelo líder de mercado (CBMM, que explora Araxá e Catalão I), em vez de ser controlado pela lei da procura e da oferta. A informação sobre a exportação de Nb é pouco credível pois os contratos entre os produtores e consumidores são confidenciais; sabe-se apenas que os principais importadores são alguns países da União Europeia, os EUA, o Japão e a China, uma vez que a sua produção primária nesta matéria-prima é bastante reduzida.

A mina de Araxá tem um historial de incremento de produção de Nb, cumprindo sempre as expectativas de mercado, sendo assim expectável que continue a mais importante fonte de minério de Nb. Contudo, ainda que sem produção tão significativa, existem várias outras fontes disponíveis, uma vez que os recursos de Nb conhecidos no mundo são superiores ao consumo global. A descoberta de novas reservas efectivas em várias outras zonas do mundo podem fazer decrescer o risco de abastecimento de Nb, garantindo outras fontes, condições mais acessíveis de logística e transporte e menor risco de ameaças geopolíticas (referentes à indústria mineira).

O futuro da prospecção de Nb está também dependente das condicionantes dos mercados e do desenvolvimento de novas tecnologias que necessitem das propriedades deste metal. Caso seja necessário expandir reservas e aumentar a produção, há várias potencialidades de exploração economicamente rentável de depósitos, nomeadamente nos carbonatitos de Angola. Daí a importância no conhecimento geológico e na construção de uma sólida base de dados de química mineral de modo a focalizar futuros trabalhos de prospecção, pesquisa e exploração de maneira exemplar, eficiente e organizada.

IX. Referências bibliográficas

A

- Alberti, A., Castorina, F., Censi, P., Comin-Chiaramonti, P., & Gomes, C.B. (1999). *Geochemical characteristics of Cretaceous carbonatites from Angola*. Journal of African Earth Sciences, 29(4), 735-759.
- Araújo, A.G., Guimarães F. [Coords] (1992). *Notícia explicativa da Carta Geológica de Angola à escala 1:1.000 000*. Serviço Geológico de Angola, Luanda, 135 pp.
- Atencio, D., Andrade, M.B., Christy, A.G., Gieré, R., & Kartashov, P.M. (2010). *The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature*. The Canadian Mineralogist, 48(3), 673-698.

B

- Beleque, A.R.C. (2010). *Minerais de ETR no complexo carbonatítico de Bailundo (Mungo, Angola): ocorrência, composição e significado económico*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, 130 pp..
- Bernard, J.H., & Hyršl, J. (2004). *Minerals and their Localities*. V. T. King (Ed.). Praha, Czech Republic: Granit, 823 pp..
- Bleiwass, P. & Yager (2015). *Shift in Global Tantalum Mine Production*, USGS Fact Sheet 2015-3079.

C

- Comin-Chiaramonti, P., de Barros Gomes, C., Cundari, A., Castorina, F., & Censi, P. (2007). *A review of carbonatitic magmatism in the Paraná–Angola–Etendeka system*. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 9, p. 11507).
- Comissão Europeia (2013). “Report on Critical Raw Materials for the EU – Critical Raw Materials Profile”, 202p.
- Cuney, M. (2010). *Evolution of uranium fractionation processes through time: driving the secular variation of uranium deposit types*. Economic Geology, 105(3), 553-569.
- Cuney, M., & Kyser, K. (Eds.). (2009). *Recent and not-so-recent developments in uranium deposits and implications for exploration*, 79-95.

D

- Dias, P. A., Pereira, B., Leal Gomes, C., & Guimarães, F. (2009). *Structure and mineralogy of the Muro Alto granitic pegmatite (Vieira do Minho – Portugal): Peculiar assemblages of high-F hydrothermal evolution*. Estudos Geológicos, 19(2), 105.

G

- Gieré, R. (1990). *Hydrothermal mobility of Ti, Zr and REE: examples from the Bergell and Adamello contact aureoles (Italy)*. Terra Nova, 2(1), 60-67.
- Green, T.H. (1995). *Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system*. Chemical Geology, 120(3), 347-359.
- Guilbert, J.M., & Park Jr, C.F. (2007). *The geology of ore deposits*. Waveland Press.
- Gunn, G., (2014). *Critical Metals Handbook*, Wiley-Blackwell, UK, 454pp..

H

- Henderson, S.J., Shebanova, O., Hector, A.L., McMillan, P.F., & Weller, M.T. (2007). *Structural Variations in Pyrochlore-Structured $\text{Bi}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$, $\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ and $\text{Bi}_2\text{Hf}_{2-x}\text{Ti}_x\text{O}_7$ Solid Solutions as a Function of Composition and Temperature by Neutron and X-ray Diffraction and Raman Spectroscopy*. *Chemistry of Materials*, 19(7), 1712-1722.
- Hodgson, N.A., & Le Bas, M.J. (1992). *The geochemistry and cryptic zonation of pyrochlore from San Vicente, Cape Verde Islands*. *Mineralogical Magazine*, 56(383), 201-214.
- Hogarth, D.D. (1977). *Classification and nomenclature of the pyrochlore group*. *American Mineralogist*, 62(5-6), 403-410.
- Hogarth, D.D. (1989). Pyrochlore, apatite and amphibole: distinctive minerals in carbonatite. *Carbonatites: genesis and evolution*. Unwin Hyman, London, 105-148.
- Hogarth, D.D., Williams, C.T., & Jones, P. (2000). *Primary zoning in pyrochlore group minerals from carbonatites*. *Mineralogical Magazine*, 64(4), 683-697.
- Horne, J. (1989). Non-metamict uranoan pyrochlore and uranpyrochlore from tuff near Ndale, Fort Portal area, Uganda. *Mineralogical Magazine*, 53, 257-62.
- Hoshino, M., Sanematsu, K. & Watanabe, Y. (2016). REE Mineralogy and Resources. *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, 49, 129-291.

I

- Issa Filho, A., Riffel, B.F., & de Faria Sousa, C.A. (2001). *Some aspects of the mineralogy of cbmm niobium deposit and mining and pyrochlore ore processing—Araxá, mg-Brazil*. In: *Niobium Science & Technology: Proceedings of the International Symposium Niobium*.
- Issa Filho, A., Dos Santos, A.B.R.M.D., Riffel, B.F., Lapido Loureiro, F.E.V., & McReath, I. (1991). *Aspects of the geology, petrology and chemistry of some Angolan carbonatites*. *Journal of Geochemical Exploration*, 40(1-3), 205-226.

L

- Lapido Loureiro, F.E.V. (1992). *A província alcalino-carbonatítica Brasil-Angola e seus principais aspectos económicos*. Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Bahia, 1049-1060.
- Lapido Loureiro, F.E.V. (1995). *A mega-província carbonatítica Brasil-Angola e os seus recursos minerais; geologia, petrografia, geoquímica, geologia económica*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 191 pp..
- Lumpkin, G. R., & Ewing, R. C. (1995). *Geochemical alteration of pyrochlore group minerals: pyrochlore subgroup*. *American mineralogist*, 80(7-8), 732-743.

M

- Machado, F.J.S. (1958). *The volcanic belt of Angola and its carbonatites*. C.C.T.A./A.S.G.A. meeting volume, 123-130.
- Mackay, D.A.R., & Simandl, G. J. (2015). *Pyrochlore and columbite-tantalite as indicator minerals for specialty metal deposits*. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2014-289.

- Matos Alves, C.A. (1968). *Estudo Geológico e Petrológico do Maciço Alcalino-Carbonatítico do Quicuco (Angola)*. Junta de Investigações do Ultramar, 160 pp..
- Mariano, A.N. (1989). *Nature of economic mineralization in carbonatites and related rocks*. In: *Carbonatites: genesis and evolution*, Unwin Hyman Ltd. London, 149-176.
- Miracle, D.B., Donaldson, S.L., Henry, S.D., Moosbrugger, C., Anton, G.J., Sanders, B.R. & Scott Jr, W.W. (2001). *ASM handbook (Vol. 21). Materials Park, OH, USA: ASM International*.
- Mcmahon, B.M., & Haggerty, S.E. (1979). *The Oka carbonatite complex: magnetite compositions and the related role of titanium in pyrochlore*. In: *Kimberlites, Diatremes, and Diamonds: Their Geology, Petrology, and Geochemistry*, 382-392.
- McMaster, S.A., Ram, R., Pownceby, M.I., Tardio, J., & Bhargava, S. (2015). *Characterisation and leaching studies on the uranium mineral betafite [(U,Ca)₂(Nb,Ti,Ta)₂O₇]*. Minerals Engineering, 81, 58-70.
- Mourão, C. (2010). *Geoquímica das rochas magmáticas da Ilha Brava: implicações para a origem e variabilidade espaço-temporal do ponto quente de Cabo Verde*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 418 pp.

N

- Nasraoui, M., & Bilal, E. (2000). *Pyrochlores from the Lueshe carbonatite complex (Democratic Republic of Congo): a geochemical record of different alteration stages*. Journal of Asian Earth Sciences, 18(2), 237-251.

P

- Pereira, L.F.R.D.F. (2011). *Efeitos da meteorização química em rochas carbonatíticas e féníticas de Bailundo e Capuia (Mungo, Angola): repercussões nas actividades de prospecção e pesquisa mineral*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, 80 pp..
- Polinard, E. (1939). *Les roches alcalines de Chianga (Angola) et les tufs associés*. Mém. Inst. Royal Geol. Belge, 9(4).
- Prazeres, C.M. (2011). *Caracterização geoquímica, radiométrica e mineralógica de algumas mineralizações de urânio da região de Niza*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, 29 pp..

R

- Ramos, J. F. (2007). *Locality n.º 5: Seixo Amarelo–Goncalo rare element aplite–pegmatite field*. In *Granitic Pegmatites: The State of the Art*, International Symposium (pp. 72-86).
- Reed, S.J.B. (1975). *Electron microprobe analysis (Vol. 2)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Robb, L. (2013). *Introduction to ore-forming processes*. John Wiley & Sons.
- Rouse, R.C., Dunn, P. J. Peacor, D.R., & Wang, L. (1998). *Structural studies of the natural antimonian pyrochlores: I. mixed valency, cation site splitting, and symmetry reduction in lewisite*. Journal of Solid State Chemistry, 141(2), 562-569.

Rudnick, R.L., McDonough, W.F., & Chappell, B.W. (1993). *Carbonatite metasomatism in the northern Tanzanian mantle: petrographic and geochemical characteristics*. Earth and Planetary Science Letters, 114(4), 463-475.

S

Santos, P.R.A.D. (2010). *Características mineralógicas, petrográficas e geoquímicas do complexo carbonatítico de Bailundo (Mungo, Angola) e a sua relevância na avaliação de recursos potenciais*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, 93 pp..

Hoshino, M., Sanematsu, K., & Watanabe, Y. (2016). REE Mineralogy and Resources. *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, 49, 129-291.

Sharygin, V.V., Sobolev, N.V., & Channer, D.M.D. (2009). *Oscillatory-zoned crystals of pyrochlore-group minerals from the Guaniamo kimberlites, Venezuela*. Lithos, 112, 976-985.

Subramanian, M.A., Aravamudan, G., & Rao, G.S. (1983). *Oxide pyrochlores - a review*. Progress in Solid State Chemistry, 15(2), 55-143.

Schulz & Papp (2014). *Niobium and Tantalum – Indispensable Twins*, USGS Fact Sheet 2014-3054.

T

Torró, L., Villanova, C., Castillo, M., Campeny, M., Gonçalves, A.O., & Melgarejo, J.C. (2012). *Niobium and rare earth minerals from the Virulundo carbonatite, Namibe, Angola*. Mineralogical Magazine, 76(2), 393-409.

W

Widom, E., Gill, J.B., & Schmincke, H.U. (1993). *Syenite nodules as a long-term record of magmatic activity in Agua de Pao volcano, São Miguel, Azores*. Journal of Petrology, 34(5), 929-953.

Winter, J.D. (2001). *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. Prentice Hall, 362-400

Woolley A.R., Kempe D.R.C. (1989). *Carbonatites: nomenclature, average, chemical compositions, and element distribution*. Carbonatites, Genesis and Evolution (Keith Bell ed.). London Unwin Hyman, 1-14.

Z

Zaitsev, A.N., Williams, C.T., Wall, F., & Zolotarev, A.A. (2012). *Evolution of chemical composition of pyrochlore group minerals from phoscorites and carbonatites of the Khibina alkaline massif*. Geology of Ore Deposits, 54(7), 503-515.

Zurevinski, S.E., & Mitchell, R.H. (2004). *Extreme compositional variation of pyrochlore-group minerals at the Oka carbonatite complex, Quebec: evidence of magma mixing?*. The Canadian Mineralogist, 42(4), 1159-1168.

Anexos

Anexo I

Tabela referente às análises pontuais de pirocloros representativos das amostras da sondagem BLS-1 do CCB

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

% (peso) de óxidos

Amostr	BLS- Pirocloro 1									
Análise	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Nb₂O₅	60,4	64,1	59,2	64,4	64,5	60,5	59,7	64,5	65,2	61,0
Ta₂O₅	0,00	0,00	0,69	0,08	0,00	0,14	0,18	0,59	0,23	0,00
As₂O₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO₂	3,20	2,48	4,01	2,61	2,62	3,49	3,57	2,91	2,85	3,26
ZrO₂	2,80	1,87	3,15	1,86	1,81	2,74	3,16	1,79	1,64	2,96
HfO₂	0,52	0,28	0,11	0,23	0,03	0,38	0,00	0,03	0,00	0,27
ThO₂	0,46	0,26	1,04	0,34	0,29	0,51	0,50	0,18	0,30	0,14
UO₂	0,04	0,02	0,06	0,01	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04
SiO₂	0,00	0,29	0,00	0,03	0,11	0,00	0,00	0,52	0,74	0,00
La₂O₃	0,33	0,12	0,49	0,24	0,21	0,20	0,36	0,10	0,08	0,41
Ce₂O₃	3,30	1,19	4,65	1,34	1,47	3,47	3,79	0,14	0,15	3,89
Pr₂O₃	0,08	0,21	0,54	0,17	0,04	0,09	0,22	0,23	0,02	0,39
Nd₂O₃	0,75	0,15	0,76	0,14	0,00	1,01	0,97	0,15	0,12	0,65
Sm₂O₃	0,00	0,04	0,13	0,07	0,02	0,00	0,03	0,05	0,00	0,04
Eu₂O₃	0,10	0,02	0,02	0,10	0,01	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00
Gd₂O₃	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00
Tb₂O₃	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53	0,33	0,00
Dy₂O₃	0,00	0,00	0,33	0,08	0,31	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Ho₂O₃	0,10	0,02	0,13	0,00	0,07	0,27	0,00	0,00	0,16	0,00
Er₂O₃	0,00	0,01	0,00	0,12	0,11	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Tm₂O₃	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yb₂O₃	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,02	0,15	0,00	0,00	0,12
Lu₂O₃	0,00	0,26	0,14	0,02	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,25
V₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00
Y₂O₃	0,23	0,31	0,23	0,31	0,26	0,32	0,30	0,33	0,31	0,32
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
FeO	0,93	0,33	0,83	0,40	1,22	0,62	0,63	0,41	0,46	0,82
MnO	0,09	0,12	0,07	0,11	0,07	0,00	0,05	0,00	0,09	0,08
MgO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00
PbO	0,07	0,22	0,08	0,08	0,09	0,08	0,17	0,09	0,15	0,09
CaO	17,4	18,5	17,3	17,9	18,0	17,6	17,5	19,0	19,0	17,4
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
SrO	0,10	0,12	0,04	0,16	0,15	0,12	0,09	0,17	0,26	0,13
Na₂O	5,81	6,46	5,29	6,52	6,34	5,92	5,83	6,41	6,55	5,71
K₂O	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,00	0,02	0,03
F	2,90	2,78	2,45	3,02	3,45	3,18	2,64	3,59	3,48	3,24

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	BLS- Pirocloro 1									
Análise	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Nb	1,747	1,80	1,69	1,81	1,80	1,73	1,72	1,76	1,76	1,7
Ta	0,000	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,0
As	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,154	0,11	0,19	0,12	0,12	0,16	0,17	0,13	0,12	0,1
Zr	0,088	0,05	0,09	0,05	0,05	0,08	0,09	0,05	0,04	0,0
Hf	0,010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,007	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
U	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,000	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,0
La	0,008	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,077	0,02	0,10	0,03	0,03	0,08	0,08	0,00	0,00	0,0
Pr	0,002	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,017	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,0
Sm	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,003	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,000	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,0
Dy	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,008	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0
Al	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,050	0,01	0,04	0,02	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02	0,0
Mn	0,005	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	1,196	1,23	1,17	1,19	1,19	1,20	1,20	1,23	1,22	1,1
Ba	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sr	0,004	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Na	0,721	0,78	0,65	0,78	0,76	0,73	0,72	0,75	0,76	0,7
K	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,588	0,54	0,49	0,59	0,67	0,64	0,53	0,68	0,66	0,6
O	6,373	6,30	6,50	6,27	6,30	6,38	6,40	6,24	6,15	6,3
OH	0,039	0,14	0,00	0,12	0,02	0,00	0,06	0,06	0,19	0,0
A-vac	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

% (peso) de óxidos

Amostr	BLS- Pirocloro 2									
Análise	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4
Nb₂O₅	65,7	63,7	62,7	61,5	66,2	63,6	66,8	66,2	59,9	58,7
Ta₂O₅	0,00	0,11	0,36	0,59	0,15	0,00	0,26	0,02	0,93	0,58
As₂O₅	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02
TiO₂	2,44	2,30	3,42	3,48	2,23	2,65	2,19	2,21	3,72	3,81
ZrO₂	1,22	1,99	2,33	3,35	1,61	2,03	1,18	2,19	3,50	3,66
HfO₂	0,00	0,05	0,12	0,03	0,20	0,22	0,19	0,41	0,07	0,16
ThO₂	0,46	0,47	1,00	0,98	0,41	0,35	0,74	0,40	1,26	1,35
UO₂	0,00	0,00	0,10	0,01	0,00	0,04	0,03	0,03	0,05	0,23
SiO₂	0,00	0,03	0,08	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La₂O₃	0,24	0,39	0,21	0,34	0,10	0,29	0,06	0,26	0,48	0,42
Ce₂O₃	1,56	2,53	2,59	3,11	1,47	2,92	1,60	1,61	4,00	3,87
Pr₂O₃	0,09	0,30	0,17	0,27	0,16	0,26	0,11	0,07	0,19	0,00
Nd₂O₃	0,00	0,37	0,54	0,77	0,25	0,91	0,21	0,09	0,77	1,07
Sm₂O₃	0,11	0,00	0,19	0,03	0,03	0,04	0,00	0,01	0,03	0,00
Eu₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,05
Gd₂O₃	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03
Tb₂O₃	0,00	0,85	0,08	0,99	0,00	1,73	1,46	2,11	0,43	0,00
Dy₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,23	0,44	0,00	0,00	0,17
Ho₂O₃	0,00	0,05	0,01	0,03	0,00	0,20	0,00	0,13	0,00	0,00
Er₂O₃	0,03	0,01	0,04	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
Tm₂O₃	0,05	0,01	0,00	0,13	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,15
Yb₂O₃	0,10	0,01	0,00	0,17	0,08	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Lu₂O₃	0,32	0,00	0,00	0,29	0,06	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
V₂O₃	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00
Y₂O₃	0,36	0,32	0,12	0,39	0,31	0,27	0,26	0,27	0,22	0,25
Al₂O₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
FeO	0,37	0,47	0,87	0,93	0,38	1,35	0,29	0,52	0,79	0,76
MnO	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,09	0,00	0,11	0,02	0,10
MgO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00
PbO	0,11	0,09	0,18	0,03	0,17	0,17	0,13	0,09	0,15	0,12
CaO	17,5	17,1	16,1	16,9	16,7	16,8	17,4	17,5	17,2	17,6
BaO	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
SrO	0,09	0,16	0,88	0,16	0,22	0,18	0,17	0,11	0,22	0,17
Na₂O	6,51	6,57	5,32	6,03	6,87	6,85	6,62	6,56	5,48	5,28
K₂O	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,04	0,02
F	3,10	3,17	2,94	3,05	3,61	2,82	3,42	3,15	2,90	2,51

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	BLS- Pirocloro 2									
Análise	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4
Nb	1,848	1,82	1,75	1,72	1,83	1,80	1,85	1,82	1,69	1,6
Ta	0,000	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
As	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,114	0,11	0,15	0,16	0,10	0,12	0,10	0,10	0,17	0,1
Zr	0,037	0,06	0,07	0,10	0,04	0,06	0,03	0,06	0,10	0,1
Hf	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,007	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,0
U	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
La	0,006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Ce	0,036	0,05	0,05	0,07	0,03	0,06	0,03	0,03	0,09	0,0
Pr	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,000	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,0
Sm	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,000	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03	0,04	0,00	0,0
Dy	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,012	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,019	0,02	0,04	0,04	0,02	0,07	0,01	0,02	0,04	0,0
Mn	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	1,166	1,16	1,06	1,12	1,10	1,13	1,14	1,14	1,15	1,2
Ba	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sr	0,003	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Na	0,784	0,80	0,63	0,72	0,81	0,83	0,78	0,77	0,66	0,6
K	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,610	0,63	0,57	0,59	0,70	0,56	0,66	0,60	0,57	0,5
O	6,245	6,39	6,03	6,32	6,14	6,59	6,31	6,27	6,30	6,4
OH	0,146	0,00	0,38	0,07	0,15	0,00	0,02	0,12	0,11	0,0
A-vac	0,000	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

% (peso) de óxidos

Amostr										
Análise	Pirocloro 2									
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Nb₂O₅	61,9	63,2	55,1	59,3	57,8	56,1	65,9	60,2	59,4	59,5
Ta₂O₅	0,25	0,18	0,30	0,26	0,59	0,83	0,49	0,20	0,65	0,43
As₂O₅	0,00	0,03	0,04	0,09	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,04
TiO₂	2,70	2,57	4,92	3,27	3,75	3,86	2,90	3,60	3,91	3,79
ZrO₂	2,10	1,88	2,97	2,37	3,67	3,52	2,24	3,08	2,82	3,13
HfO₂	0,00	0,24	0,04	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,20	0,02
ThO₂	0,27	0,27	0,20	0,17	0,96	0,99	0,16	0,40	0,53	1,15
UO₂	0,05	0,00	0,00	0,00	0,14	0,04	0,00	0,06	0,00	0,00
SiO₂	0,58	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00
La₂O₃	0,09	0,18	0,37	0,27	0,25	0,59	0,08	0,32	0,43	0,31
Ce₂O₃	0,87	0,66	5,80	4,05	2,89	4,22	0,06	3,80	4,77	3,74
Pr₂O₃	0,00	0,00	0,25	0,09	0,34	0,17	0,12	0,21	0,46	0,02
Nd₂O₃	0,43	0,25	1,25	0,54	0,80	0,98	0,12	0,80	0,78	0,93
Sm₂O₃	0,00	0,00	0,06	0,09	0,03	0,00	0,03	0,07	0,00	0,03
Eu₂O₃	0,15	0,00	0,05	0,11	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,05
Gd₂O₃	0,00	0,00	0,04	0,10	0,37	0,07	0,08	0,00	0,21	0,03
Tb₂O₃	1,84	0,63	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00
Dy₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,30	0,13	0,24	0,21	0,28	0,00	0,32
Ho₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Er₂O₃	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
Tm₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	0,23	0,00	0,00	0,00	0,15
Yb₂O₃	0,09	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,15	0,00	0,00
Lu₂O₃	0,00	0,00	0,22	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V₂O₃	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,01	0,01	0,00
Y₂O₃	0,31	0,33	0,35	0,30	0,28	0,25	0,30	0,30	0,27	0,27
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
FeO	0,35	0,36	0,68	0,65	0,66	0,83	0,32	1,01	0,92	0,86
MnO	0,06	0,00	0,11	0,04	0,01	0,02	0,00	0,04	0,00	0,05
MgO	0,04	0,01	0,03	0,01	0,00	0,03	0,03	0,02	0,00	0,01
PbO	0,17	0,10	0,20	0,10	0,14	0,15	0,16	0,13	0,08	0,30
CaO	18,5	18,4	17,6	17,5	18,0	17,6	18,8	17,8	17,0	17,6
BaO	0,02	0,06	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
SrO	0,17	0,15	0,15	0,07	0,06	0,10	0,27	0,16	0,13	0,09
Na₂O	6,54	6,65	5,36	6,24	5,40	5,16	6,36	5,18	5,38	5,11
K₂O	0,05	0,00	0,01	0,03	0,02	0,03	0,05	0,00	0,03	0,04
F	3,24	3,67	3,03	3,33	2,33	2,90	3,16	2,80	2,87	2,91

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	Pirocloro 2									
Análise	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Nb	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,75	1,7	1,7	1,71
Ta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
As	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Ti	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,12	0,1	0,1	0,18
Zr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,06	0,0	0,0	0,09
Hf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Th	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,01
U	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Si	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03	0,0	0,0	0,00
La	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Ce	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,00	0,0	0,1	0,08
Pr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Nd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,02
Sm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Eu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Gd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Tb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Dy	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Ho	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Er	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Tm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Yb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Lu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
V	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Y	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Al	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Fe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,04
Mn	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Mg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Pb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Ca	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,18	1,2	1,1	1,20
Ba	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Sr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,00
Na	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,6	0,72	0,6	0,6	0,63
K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
F	0,6	0,7	0,6	0,6	0,4	0,6	0,58	0,5	0,5	0,58
O	6,4	6,3	6,5	6,5	6,4	6,5	6,01	6,4	6,3	6,35
OH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,39	0,0	0,0	0,06
<i>A-vac</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,00

% (peso) de óxidos

Análise	Pirocloro 2		Pirocloro 3						B-1A Pirocloro 1	
	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
Nb₂O₅	58,7	58,2	66,1	64,3	61,1	61,2	59,4	55,5	32,4	32,9
Ta₂O₅	0,98	0,81	0,00	0,00	0,39	0,59	0,96	0,61	10,4	10,8
As₂O₅	0,03	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05
TiO₂	3,83	4,08	2,86	2,86	3,85	3,38	3,67	4,36	7,82	6,90
ZrO₂	4,07	3,45	1,93	2,28	2,84	2,29	3,37	4,72	6,88	7,51
HfO₂	0,25	0,11	0,10	0,00	0,01	0,13	0,00	0,04	0,05	0,33
ThO₂	1,34	0,94	0,32	0,15	0,72	0,22	0,66	0,71	6,27	7,57
UO₂	0,13	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,06	0,10	13,7	14,0
SiO₂	0,00	0,00	0,45	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,04
La₂O₃	0,34	0,42	0,02	0,16	0,39	0,31	0,36	0,30	0,31	0,18
Ce₂O₃	3,43	4,34	0,00	0,42	3,64	4,09	4,41	5,13	2,38	2,31
Pr₂O₃	0,32	0,32	0,00	0,00	0,44	0,04	0,28	0,19	0,13	0,06
Nd₂O₃	0,54	0,77	0,35	0,18	0,82	0,77	0,84	1,00	0,57	0,72
Sm₂O₃	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,25	0,03
Eu₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,09	0,00	0,00	0,06	0,07
Gd₂O₃	0,00	0,08	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,10	0,11	0,00
Tb₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	1,51	0,00	0,00	0,00
Dy₂O₃	0,30	0,00	0,14	0,44	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,27
Ho₂O₃	0,00	0,12	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,11	0,02	0,00
Er₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,11
Tm₂O₃	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,04	0,27	0,39
Yb₂O₃	0,05	0,30	0,13	0,02	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
Lu₂O₃	0,01	0,22	0,00	0,00	0,00	0,36	0,20	0,00	0,00	0,06
V₂O₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06
Y₂O₃	0,30	0,27	0,29	0,21	0,26	0,31	0,32	0,26	0,14	0,14
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
FeO	1,40	0,98	0,33	0,46	0,76	0,81	0,91	1,13	1,99	1,50
MnO	0,04	0,00	0,11	0,07	0,06	0,07	0,10	0,11	0,14	0,13
MgO	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00
PbO	0,09	0,11	0,13	0,23	0,11	0,14	0,06	0,09	0,28	0,24
CaO	17,1	17,9	18,8	18,8	17,5	17,6	17,4	18,1	9,44	12,3
BaO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SrO	0,08	0,14	0,22	0,25	0,09	0,09	0,17	0,09	0,00	0,03
Na₂O	4,93	4,86	6,24	6,24	5,52	5,55	5,13	4,41	0,79	1,77
K₂O	0,04	0,03	0,02	0,00	0,02	0,03	0,02	0,00	0,12	0,07
F	2,71	2,80	3,46	2,90	2,82	2,74	2,37	2,58	0,89	1,44

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Análi	Pirocloro 2		Pirocloro 3						B-1A Pirocloro 1	
	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
Nb	1,6	1,6	1,7	1,75	1,72	1,7	1,7	1,62	1,08	1,1
Ta	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,01	0,20	0,2
As	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,1	0,1	0,13	0,18	0,1	0,1	0,21	0,43	0,3
Zr	0,1	0,1	0,0	0,06	0,08	0,0	0,1	0,14	0,24	0,2
Hf	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,0	0,0	0,00	0,01	0,0	0,0	0,01	0,10	0,1
U	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,22	0,2
Si	0,0	0,0	0,0	0,04	0,00	0,0	0,0	0,00	0,01	0,0
La	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,1	0,0	0,00	0,08	0,0	0,1	0,12	0,06	0,0
Pr	0,0	0,0	0,0	0,00	0,01	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,0	0,0	0,00	0,01	0,0	0,0	0,02	0,01	0,0
Sm	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,0	0,0	0,02	0,04	0,0	0,0	0,06	0,12	0,0
Mn	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,01	0,0
Pb	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Ca	1,1	1,2	1,2	1,21	1,17	1,1	1,1	1,26	0,74	0,9
Ba	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
Na	0,6	0,6	0,7	0,73	0,66	0,6	0,6	0,55	0,11	0,2
K	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,01	0,0
F	0,5	0,5	0,6	0,55	0,55	0,5	0,4	0,52	0,20	0,3
O	6,2	6,4	6,0	6,12	6,27	6,4	6,4	6,42	5,82	6,5
OH	0,2	0,0	0,2	0,32	0,16	0,0	0,0	0,05	0,96	0,0
A-vac	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,54	0,1

% (peso) de óxidos

Amostr	Pirocloro 1						B- Pirocloro 2			
Análise	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4
Nb ₂ O ₅	37,9	33,1	36,1	38,8	37,8	29,0	37,4	37,8	39,7	38,3
Ta ₂ O ₅	6,52	8,23	7,42	8,03	9,84	11,1	11,0	10,6	8,80	10,2
As ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	6,85	7,09	6,69	5,70	3,99	6,07	4,53	4,74	5,81	4,11
ZrO ₂	4,47	6,15	6,73	3,41	8,49	2,54	6,73	6,41	2,45	5,86
HfO ₂	0,06	0,36	0,19	0,00	0,00	0,16	0,32	0,20	0,00	0,00
ThO ₂	8,45	8,09	6,38	10,7	9,01	12,1	12,3	12,6	10,3	11,5
UO ₂	10,4	11,9	11,0	9,06	10,2	8,20	11,5	10,7	9,71	10,5
SiO ₂	0,05	0,11	0,10	0,75	1,37	9,57	0,55	0,58	0,75	0,75
La ₂ O ₃	0,34	0,17	0,10	0,02	0,18	0,02	0,10	0,18	0,12	0,12
Ce ₂ O ₃	2,65	2,58	1,88	1,28	1,21	0,10	1,11	1,26	1,20	1,00
Pr ₂ O ₃	0,08	0,36	0,00	0,08	0,20	0,00	0,16	0,05	0,20	0,12
Nd ₂ O ₃	0,48	0,56	0,46	0,54	0,47	0,16	0,65	0,35	0,42	0,37
Sm ₂ O ₃	0,09	0,08	0,08	0,02	0,04	0,00	0,18	0,04	0,03	0,00
Eu ₂ O ₃	0,20	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Gd ₂ O ₃	0,13	0,11	0,17	0,04	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,35	0,00	0,73	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,13	0,00
Ho ₂ O ₃	0,06	0,00	0,04	0,01	0,00	0,09	0,10	0,11	0,00	0,00
Er ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Tm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,08	0,28	0,32	0,24	0,24	0,25	0,25
Yb ₂ O ₃	0,06	0,00	0,00	0,06	0,08	0,17	0,00	0,07	0,00	0,00
Lu ₂ O ₃	0,16	0,00	0,00	0,13	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
V ₂ O ₃	0,07	0,04	0,01	0,06	0,02	0,07	0,04	0,03	0,04	0,04
Y ₂ O ₃	0,27	0,18	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,02	0,03	0,04	0,00	0,01	0,12	0,00	0,02	0,00	0,01
FeO	1,63	1,63	1,67	2,99	3,04	2,97	2,19	2,13	2,92	2,78
MnO	0,16	0,13	0,21	0,20	0,30	0,08	0,34	0,32	0,27	0,29
MgO	0,00	0,01	0,05	0,02	0,03	0,11	0,03	0,01	0,01	0,03
PbO	0,17	0,17	0,26	0,18	0,18	0,16	0,35	0,21	0,23	0,20
CaO	12,4	11,5	11,9	9,02	7,16	7,68	4,16	5,87	9,99	8,03
BaO	0,02	0,00	0,05	0,36	0,20	0,85	0,44	0,59	0,14	0,15
SrO	0,06	0,07	0,07	4,86	3,10	0,00	2,66	2,72	3,96	2,24
Na ₂ O	1,81	1,22	1,37	0,18	0,15	0,01	0,11	0,14	0,42	0,11
K ₂ O	0,08	0,05	0,08	0,05	0,07	0,11	0,08	0,06	0,05	0,05
F	1,45	1,11	1,40	0,50	0,24	0,31	0,00	0,25	0,56	0,24

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr				B-						
				Pirocloro 1			Pirocloro 2			
Análise	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4
Nb	1,2	1,15	1,21	1,3	1,2	0,81	1,2	1,2	1,34	1,2
Ta	0,1	0,17	0,15	0,1	0,1	0,18	0,2	0,2	0,17	0,2
As	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ti	0,3	0,41	0,37	0,3	0,2	0,28	0,2	0,2	0,32	0,2
Zr	0,1	0,23	0,24	0,1	0,2	0,07	0,2	0,2	0,08	0,2
Hf	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Th	0,1	0,14	0,10	0,1	0,1	0,17	0,2	0,2	0,17	0,1
U	0,1	0,20	0,18	0,1	0,1	0,11	0,1	0,1	0,16	0,1
Si	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,60	0,0	0,0	0,05	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ce	0,0	0,07	0,05	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,03	0,0
Pr	0,0	0,01	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Nd	0,0	0,01	0,01	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,01	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,01	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Fe	0,1	0,10	0,10	0,1	0,1	0,15	0,1	0,1	0,18	0,1
Mn	0,0	0,00	0,01	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,01	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ca	1,0	0,95	0,94	0,7	0,5	0,51	0,3	0,4	0,80	0,6
Ba	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,00	0,0
Sr	0,0	0,00	0,00	0,2	0,1	0,00	0,1	0,1	0,17	0,0
Na	0,2	0,18	0,19	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,06	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
F	0,3	0,27	0,32	0,1	0,0	0,06	0,0	0,0	0,13	0,0
O	6,6	6,41	6,15	6,3	5,6	4,56	5,4	5,6	6,48	6,0
OH	0,0	0,31	0,52	0,5	1,3	2,37	1,5	1,2	0,38	0,9
A-vac	0,1	0,26	0,33	0,4	0,7	0,99	0,9	0,7	0,35	0,6

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

% (peso) de óxidos

Amostr	B									
	Piroclor									
Análise	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6
Nb₂O₅	42,0	43,2	53,5	58,3	58,1	40,6	55,8	58,0	35,0	43,8
Ta₂O₅	7,97	6,83	3,07	2,67	0,66	5,50	1,61	0,31	9,57	7,45
As₂O₅	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
TiO₂	5,53	6,26	3,81	3,93	3,33	3,04	4,52	3,15	2,67	4,35
ZrO₂	3,54	2,98	3,58	2,20	4,50	8,94	0,59	4,26	6,06	2,36
HfO₂	0,00	0,16	0,21	0,09	0,40	0,02	0,00	0,32	0,13	0,00
ThO₂	10,7	11,9	6,34	5,57	1,81	5,69	5,26	1,84	4,17	5,90
UO₂	9,14	7,64	3,72	1,40	0,03	7,43	1,13	0,06	10,4	6,81
SiO₂	1,02	0,46	0,21	0,00	0,52	3,80	1,09	0,72	6,45	2,23
La₂O₃	0,12	0,18	0,17	0,27	0,14	0,00	0,13	0,30	0,16	0,09
Ce₂O₃	0,94	1,00	1,33	1,56	1,16	1,03	0,93	1,00	0,58	0,72
Pr₂O₃	0,12	0,14	0,12	0,02	0,12	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00
Nd₂O₃	0,32	0,59	0,35	0,43	0,24	0,00	0,30	0,40	0,21	0,22
Sm₂O₃	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
Eu₂O₃	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,13	0,11	0,02	0,12
Gd₂O₃	0,01	0,23	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00
Tb₂O₃	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	1,40	1,46	1,19	0,46
Dy₂O₃	0,00	0,00	0,24	0,02	0,03	0,00	0,36	0,01	0,00	0,00
Ho₂O₃	0,00	0,00	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Er₂O₃	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,10	0,00
Tm₂O₃	0,22	0,17	0,00	0,04	0,04	0,28	0,10	0,14	0,16	0,00
Yb₂O₃	0,00	0,01	0,11	0,00	0,06	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00
Lu₂O₃	0,00	0,07	0,02	0,07	0,21	0,00	0,00	0,00	0,13	0,02
V₂O₃	0,03	0,07	0,02	0,00	0,04	0,03	0,07	0,00	0,21	0,09
Y₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,16	0,33	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00
Al₂O₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,19	0,05	0,01	0,38	0,13
FeO	2,85	2,56	1,35	0,82	0,74	2,09	2,60	0,57	2,25	3,57
MnO	0,33	0,22	0,10	0,03	0,00	0,25	0,01	0,07	0,19	0,17
MgO	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,11	0,00
PbO	0,23	0,19	0,16	0,16	0,18	0,24	0,31	0,07	0,07	0,22
CaO	8,75	10,0	14,1	13,7	16,6	5,11	8,60	16,5	4,88	5,27
BaO	0,19	0,14	0,10	0,02	0,00	3,98	1,16	0,00	3,42	4,56
SrO	3,11	3,33	1,67	1,19	0,26	2,04	5,77	0,22	1,49	3,46
Na₂O	0,62	0,41	3,22	4,84	6,19	0,00	0,05	6,54	0,03	0,00
K₂O	0,05	0,05	0,02	0,03	0,18	0,03	0,04	0,28	0,21	0,08
F	0,31	0,69	2,25	3,13	3,70	0,13	0,92	3,71	0,22	0,14

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B-									
	Piroclor									
Análise	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6
Nb	1,3	1,38	1,61	1,69	1,64	1,19	1,64	1,65	1,02	1,3
Ta	0,1	0,13	0,05	0,04	0,01	0,09	0,02	0,00	0,16	0,1
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,2	0,33	0,19	0,19	0,15	0,14	0,22	0,15	0,13	0,2
Zr	0,1	0,10	0,11	0,06	0,13	0,28	0,01	0,13	0,19	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,1	0,19	0,09	0,08	0,02	0,08	0,07	0,02	0,06	0,0
U	0,1	0,12	0,05	0,02	0,00	0,10	0,01	0,00	0,15	0,1
Si	0,0	0,03	0,01	0,00	0,03	0,25	0,07	0,04	0,42	0,1
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,02	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,0
Fe	0,1	0,15	0,07	0,04	0,03	0,11	0,14	0,03	0,12	0,2
Mn	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	0,6	0,76	1,00	0,94	1,11	0,35	0,60	1,11	0,34	0,3
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,03	0,00	0,08	0,1
Sr	0,1	0,13	0,06	0,04	0,01	0,07	0,21	0,00	0,05	0,1
Na	0,0	0,05	0,41	0,60	0,75	0,00	0,00	0,80	0,00	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,0
F	0,0	0,15	0,47	0,63	0,73	0,02	0,19	0,74	0,04	0,0
O	5,9	6,15	6,21	6,01	6,03	4,47	5,27	6,17	4,44	5,1
OH	0,9	0,68	0,31	0,34	0,22	2,49	1,53	0,08	2,51	1,7
A-vac	0,5	0,49	0,20	0,19	0,00	1,10	0,82	0,00	1,08	0,8

% (peso) de óxidos

Amostr	B									
	Pirocloro 2						Pirocloro 1			
Análise	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Nb ₂ O ₅	59,4	60,2	50,3	36,4	48,1	45,7	40,6	40,3	45,9	43,9
Ta ₂ O ₅	1,18	0,55	2,95	10,7	5,54	7,89	8,21	8,75	6,96	8,09
As ₂ O ₅	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
TiO ₂	3,33	3,40	3,38	3,58	3,39	4,20	3,80	3,67	3,94	4,15
ZrO ₂	4,62	4,47	5,52	5,63	2,95	1,35	7,62	7,28	6,40	6,27
HfO ₂	0,00	0,00	0,06	0,07	0,14	0,04	0,07	0,32	0,17	0,25
ThO ₂	1,89	1,89	3,30	4,99	6,87	5,54	10,0	10,2	10,4	9,38
UO ₂	0,09	0,07	1,94	9,61	4,38	6,85	7,74	7,98	6,07	7,57
SiO ₂	0,96	0,53	1,54	6,72	2,74	2,69	0,92	1,03	0,11	0,18
La ₂ O ₃	0,09	0,16	0,06	0,26	0,17	0,13	0,23	0,20	0,24	0,17
Ce ₂ O ₃	1,44	0,94	0,79	0,46	0,06	0,52	1,37	1,51	1,48	1,46
Pr ₂ O ₃	0,11	0,00	0,00	0,19	0,06	0,00	0,02	0,18	0,26	0,29
Nd ₂ O ₃	0,26	0,10	0,04	0,04	0,00	0,02	0,51	0,32	0,35	0,44
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,00	0,19	0,03	0,00	0,05	0,02	0,10
Eu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,17	0,05	0,00	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,09	0,24	0,27	0,15	0,00	0,08	0,03
Tb ₂ O ₃	0,00	0,48	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,81	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,27	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Ho ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,03	0,24	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Er ₂ O ₃	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Tm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,22	0,42	0,02	0,07	0,05	0,19	0,24	0,20
Yb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03
Lu ₂ O ₃	0,12	0,04	0,19	0,07	0,16	0,00	0,06	0,00	0,04	0,00
V ₂ O ₃	0,02	0,04	0,08	0,10	0,10	0,14	0,06	0,03	0,02	0,04
Y ₂ O ₃	0,26	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,02	0,00	0,08	0,35	0,18	0,18	0,00	0,02	0,00	0,00
FeO	0,30	0,30	1,26	1,73	2,62	3,19	2,52	2,44	1,57	1,97
MnO	0,13	0,05	0,04	0,11	0,18	0,13	0,03	0,00	0,09	0,04
MgO	0,02	0,00	0,02	0,06	0,03	0,05	0,03	0,00	0,02	0,01
PbO	0,10	0,25	0,10	0,19	0,14	0,21	0,20	0,26	0,24	0,22
CaO	16,4	16,4	13,0	6,02	5,24	5,73	9,08	8,21	10,1	10,7
BaO	0,01	0,00	1,26	4,04	4,38	4,75	0,07	0,23	0,03	0,00
SrO	0,13	0,16	1,16	1,88	4,14	3,84	3,70	4,46	2,29	1,60
Na ₂ O	6,64	6,80	3,26	0,00	0,00	0,08	0,07	0,00	0,08	0,24
K ₂ O	0,39	0,18	0,12	0,03	0,05	0,05	0,07	0,07	0,04	0,06
F	3,30	3,71	1,53	0,02	0,23	0,18	0,54	0,67	0,82	1,06

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	Pirocloro 2						Pirocloro 1			
Análise	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Nb	1,6	1,66	1,48	1,01	1,42	1,38	1,30	1,29	1,43	1,3
Ta	0,0	0,00	0,05	0,18	0,09	0,14	0,15	0,16	0,13	0,1
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,15	0,16	0,16	0,16	0,21	0,20	0,19	0,20	0,2
Zr	0,1	0,13	0,17	0,17	0,09	0,04	0,26	0,25	0,21	0,2
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,02	0,04	0,07	0,10	0,08	0,16	0,16	0,16	0,1
U	0,0	0,00	0,02	0,13	0,06	0,10	0,12	0,12	0,09	0,1
Si	0,0	0,03	0,10	0,42	0,18	0,18	0,06	0,07	0,00	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,01	0,06	0,09	0,14	0,17	0,14	0,14	0,09	0,1
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	1,0	1,07	0,91	0,40	0,36	0,41	0,69	0,62	0,75	0,8
Ba	0,0	0,00	0,03	0,09	0,11	0,12	0,00	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,00	0,04	0,06	0,15	0,14	0,15	0,18	0,09	0,0
Na	0,7	0,80	0,41	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,0
K	0,0	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,6	0,71	0,31	0,00	0,04	0,03	0,12	0,15	0,18	0,2
O	5,9	5,95	5,49	4,42	4,85	5,10	5,79	5,80	5,76	5,8
OH	0,4	0,33	1,18	2,57	2,09	1,85	1,08	1,04	1,06	0,9
A-vac	0,0	0,00	0,39	1,08	1,00	0,89	0,63	0,65	0,69	0,6

% (peso) de óxidos

Amostr	B-									
	Pirocloro 2						Pirocloro 3			
Análise	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
Nb₂O₅	54,9	58,5	46,5	46,2	49,0	53,3	59,3	61,1	45,2	43,9
Ta₂O₅	4,10	0,53	9,11	8,48	6,21	2,09	0,39	0,64	9,78	9,33
As₂O₅	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03
TiO₂	4,82	3,53	4,71	4,40	4,93	4,46	3,39	3,16	4,01	4,10
ZrO₂	2,53	2,87	7,26	6,64	5,26	3,62	3,55	3,68	7,35	7,51
HfO₂	0,00	0,10	0,22	0,20	0,21	0,00	0,21	0,00	0,27	0,00
ThO₂	8,19	8,10	8,05	8,49	14,4	14,3	6,07	4,56	9,48	9,68
UO₂	3,32	0,35	10,8	9,10	2,93	1,17	0,12	0,11	10,5	10,1
SiO₂	0,00	0,65	0,95	0,93	1,75	1,98	0,00	0,03	1,02	0,53
La₂O₃	0,18	0,24	0,14	0,09	0,17	0,11	0,23	0,21	0,12	0,14
Ce₂O₃	1,61	1,54	1,31	1,17	1,32	1,42	1,92	0,97	1,47	1,56
Pr₂O₃	0,03	0,00	0,06	0,06	0,02	0,00	0,18	0,15	0,27	0,06
Nd₂O₃	0,48	0,39	0,28	0,31	0,33	0,62	0,45	0,21	0,44	0,39
Sm₂O₃	0,04	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eu₂O₃	0,11	0,01	0,03	0,03	0,00	0,03	0,11	0,00	0,00	0,00
Gd₂O₃	0,00	0,08	0,01	0,12	0,00	0,09	0,00	0,01	0,03	0,00
Tb₂O₃	0,16	0,00	0,08	0,00	0,46	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00
Dy₂O₃	0,12	0,00	0,21	0,36	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
Ho₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,17	0,01	0,00	0,20	0,00	0,00	0,04
Er₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,04	0,00	0,00
Tm₂O₃	0,08	0,04	0,20	0,24	0,21	0,01	0,00	0,10	0,17	0,18
Yb₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00
Lu₂O₃	0,13	0,00	0,00	0,06	0,01	0,08	0,21	0,00	0,00	0,00
V₂O₃	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,05	0,00	0,04
Y₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,28	0,00	0,00
Al₂O₃	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01
FeO	1,11	2,00	1,74	1,48	1,49	2,28	1,10	1,54	1,74	1,53
MnO	0,06	0,01	0,10	0,13	0,11	0,06	0,10	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01
PbO	0,16	0,17	0,25	0,26	0,19	0,27	0,14	0,16	0,22	0,21
CaO	12,7	12,4	3,02	3,02	3,05	4,02	14,9	15,7	3,73	3,15
BaO	0,02	0,26	1,75	2,65	2,83	2,78	0,00	0,05	0,18	0,43
SrO	1,61	4,22	1,25	0,98	1,01	3,80	1,31	0,57	1,91	1,84
Na₂O	1,83	1,37	0,00	0,00	0,02	0,00	3,40	4,21	0,00	0,00
K₂O	0,05	0,03	0,08	0,09	0,07	0,04	0,03	0,04	0,08	0,07
F	1,74	1,57	0,10	0,03	0,04	0,13	3,09	3,01	0,21	0,48

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B-									
	Pirocloro 2						Pirocloro 3			
Análise	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
Nb	1,6	1,68	1,32	1,35	1,38	1,51	1,71	1,72	1,32	1,3
Ta	0,0	0,00	0,15	0,15	0,10	0,03	0,00	0,01	0,17	0,1
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,2	0,16	0,22	0,21	0,23	0,21	0,16	0,14	0,19	0,2
Zr	0,0	0,08	0,22	0,21	0,16	0,11	0,11	0,11	0,23	0,2
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,1	0,11	0,11	0,12	0,20	0,20	0,08	0,06	0,14	0,1
U	0,0	0,00	0,15	0,13	0,04	0,01	0,00	0,00	0,15	0,1
Si	0,0	0,04	0,06	0,06	0,11	0,12	0,00	0,00	0,06	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,10	0,09	0,08	0,07	0,12	0,05	0,08	0,09	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	0,8	0,85	0,20	0,21	0,20	0,27	1,01	1,05	0,25	0,2
Ba	0,0	0,00	0,04	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,15	0,04	0,03	0,03	0,13	0,04	0,02	0,07	0,0
Na	0,2	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,50	0,00	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,3	0,31	0,02	0,00	0,00	0,02	0,62	0,59	0,04	0,1
O	5,8	5,77	4,51	4,52	4,42	4,80	6,00	5,98	4,71	4,6
OH	0,8	0,91	2,46	2,46	2,56	2,17	0,37	0,42	2,23	2,2
A-vac	0,5	0,52	1,27	1,26	1,29	1,11	0,27	0,21	1,20	1,2

% (peso) de óxidos

Amostr	B-7 Pirocloro 1									
Análise	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
Nb ₂ O ₅	46,0	47,6	54,3	56,1	62,7	62,6	60,5	59,6	55,5	56,1
Ta ₂ O ₅	7,95	7,56	4,47	3,33	0,92	0,60	1,14	1,66	2,07	2,00
As ₂ O ₅	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03
TiO ₂	4,31	4,35	4,70	4,80	3,35	3,00	3,39	3,23	3,41	3,37
ZrO ₂	6,29	6,49	2,61	2,53	1,73	1,62	5,41	6,31	6,49	6,69
HfO ₂	0,35	0,40	0,00	0,19	0,00	0,00	0,01	0,05	0,09	0,23
ThO ₂	10,7	11,5	8,40	7,66	6,74	5,56	5,55	5,44	6,31	6,24
UO ₂	6,27	5,62	3,20	2,13	0,07	0,05	0,73	0,59	2,03	2,09
SiO ₂	2,36	1,73	1,05	1,40	0,00	0,00	0,74	0,61	1,83	1,86
La ₂ O ₃	0,14	0,23	0,24	0,09	0,17	0,13	0,22	0,14	0,36	0,34
Ce ₂ O ₃	1,64	2,07	1,42	1,60	0,85	0,89	1,17	1,43	1,56	1,83
Pr ₂ O ₃	0,13	0,17	0,29	0,28	0,15	0,09	0,26	0,09	0,00	0,00
Nd ₂ O ₃	0,41	0,45	0,43	0,38	0,29	0,28	0,22	0,22	0,51	0,11
Sm ₂ O ₃	0,05	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00
Eu ₂ O ₃	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06	0,02
Gd ₂ O ₃	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,26	0,17	0,00	0,00	0,00
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00
Dy ₂ O ₃	0,34	0,00	0,01	0,02	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Ho ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,05	0,08	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Er ₂ O ₃	0,04	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02
Tm ₂ O ₃	0,24	0,23	0,00	0,16	0,00	0,02	0,00	0,13	0,00	0,00
Yb ₂ O ₃	0,00	0,13	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,15
Lu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,04	0,00	0,08	0,00	0,00	0,09	0,22	0,00
V ₂ O ₃	0,01	0,03	0,06	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08
Y ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,00	0,03	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05
FeO	1,56	1,80	2,51	4,79	0,53	0,46	1,74	1,65	2,00	2,11
MnO	0,00	0,06	0,07	0,56	0,01	0,04	0,07	0,06	0,10	0,11
MgO	0,05	0,04	0,04	0,09	0,01	0,00	0,02	0,01	0,03	0,03
PbO	0,22	0,19	0,21	0,11	0,20	0,14	0,19	0,07	0,14	0,15
CaO	3,01	3,10	9,59	6,12	17,1	16,9	9,30	9,46	7,79	7,05
BaO	1,01	0,39	0,45	0,48	0,05	0,00	0,87	0,72	2,46	2,70
SrO	2,36	2,18	3,10	2,07	0,10	0,13	4,00	4,42	3,03	3,16
Na ₂ O	0,00	0,00	0,17	0,00	3,32	6,35	0,23	0,19	0,06	0,17
K ₂ O	0,09	0,07	0,05	0,05	0,06	0,03	0,05	0,06	0,03	0,03
F	0,13	0,08	0,93	0,46	3,56	3,52	0,86	1,25	0,51	0,42

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B-7 Pirocloro 1									
Análise	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
Nb	1,3	1,34	1,54	1,54	1,77	1,79	1,62	1,60	1,50	1,4
Ta	0,1	0,12	0,07	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,2	0,20	0,22	0,22	0,15	0,14	0,15	0,14	0,15	0,1
Zr	0,1	0,19	0,08	0,07	0,05	0,05	0,15	0,18	0,18	0,1
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,1	0,16	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,0
U	0,0	0,07	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,0
Si	0,1	0,11	0,06	0,08	0,00	0,00	0,04	0,03	0,11	0,1
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,04	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,09	0,13	0,24	0,02	0,02	0,08	0,08	0,10	0,1
Mn	0,0	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	0,2	0,20	0,64	0,39	1,14	1,15	0,59	0,60	0,49	0,4
Ba	0,0	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,05	0,0
Sr	0,0	0,07	0,11	0,07	0,00	0,00	0,13	0,15	0,10	0,1
Na	0,0	0,00	0,02	0,00	0,40	0,78	0,02	0,02	0,00	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,0	0,01	0,18	0,08	0,70	0,70	0,16	0,23	0,09	0,0
O	4,4	4,46	5,29	4,81	6,07	6,43	4,83	4,84	4,75	4,6
OH	2,5	2,51	1,51	2,09	0,21	0,00	2,00	1,91	2,15	2,3
A-vac	1,2	1,27	0,83	1,04	0,26	0,00	0,99	0,98	1,03	1,0

% (peso) de óxidos

Amostr	B-									
	Pirocloro 1									
Análise	6	5	1	2	3	4	5	6	7	8
Nb ₂ O ₅	51,3	46,0	42,1	43,7	46,7	45,9	34,7	45,6	42,9	47,2
Ta ₂ O ₅	4,34	5,11	8,88	8,40	4,93	4,74	9,29	5,90	8,20	4,36
As ₂ O ₅	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	6,63	5,41	5,49	5,73	5,25	5,27	4,05	5,32	5,68	5,06
ZrO ₂	5,63	8,99	1,50	1,78	3,18	3,26	9,57	3,56	1,25	3,19
HfO ₂	0,21	0,20	0,00	0,36	0,00	0,03	0,24	0,00	0,26	0,21
ThO ₂	6,84	6,48	11,5	11,3	14,3	12,2	8,71	12,7	12,3	13,3
UO ₂	3,20	5,23	8,17	8,07	2,93	4,39	12,2	5,06	7,13	2,77
SiO ₂	3,53	4,53	1,02	0,90	1,26	1,67	1,05	1,59	0,72	0,70
La ₂ O ₃	0,12	0,35	0,10	0,07	0,16	0,17	0,03	0,15	0,25	0,22
Ce ₂ O ₃	0,80	1,06	0,67	0,49	1,46	1,49	1,02	1,41	0,95	1,56
Pr ₂ O ₃	0,05	0,06	0,29	0,18	0,16	0,35	0,13	0,00	0,30	0,15
Nd ₂ O ₃	0,12	0,24	0,20	0,25	0,37	0,58	0,29	0,52	0,14	0,48
Sm ₂ O ₃	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,09	0,13	0,14	0,08	0,00
Eu ₂ O ₃	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06	0,01	0,00	0,01
Gd ₂ O ₃	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,17	0,00	0,14	0,00	0,09
Tb ₂ O ₃	0,09	0,00	0,65	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,34	0,23	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,14	0,22
Ho ₂ O ₃	0,09	0,03	0,00	0,00	0,06	0,00	0,13	0,26	0,28	0,05
Er ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,09	0,06	0,08	0,00	0,13
Tm ₂ O ₃	0,04	0,22	0,07	0,16	0,14	0,27	0,00	0,28	0,07	0,29
Yb ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	0,00	0,03	0,12
Lu ₂ O ₃	0,19	0,02	0,18	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,25	0,32
V ₂ O ₃	0,61	0,41	0,05	0,02	0,03	0,03	0,08	0,05	0,05	0,06
Y ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,08	0,13	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01
FeO	5,73	3,25	3,01	2,23	2,56	2,53	2,69	2,73	2,72	2,90
MnO	0,19	0,10	0,18	0,30	0,27	0,27	0,35	0,55	0,17	0,19
MgO	0,36	0,12	0,02	0,05	0,03	0,05	0,03	0,07	0,04	0,07
PbO	0,12	0,12	0,20	0,18	0,14	0,29	0,13	0,20	0,30	0,24
CaO	4,54	5,34	10,4	9,11	7,98	8,97	6,27	4,98	9,76	9,97
BaO	2,50	3,69	0,25	0,28	0,24	0,51	0,48	0,22	0,12	0,15
SrO	1,32	2,29	3,24	3,53	2,55	3,04	2,85	3,51	4,04	3,37
Na ₂ O	0,10	0,06	0,35	0,32	0,32	0,05	0,00	0,01	0,51	0,26
K ₂ O	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,05	0,07	0,10	0,06	0,02
F	0,08	0,03	0,67	0,72	0,35	0,53	0,11	0,30	0,82	0,57

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B-									
Análise	Pirocloro 1									
	6	5	1	2	3	4	5	6	7	8
Nb	1,2	1,15	1,38	1,39	1,43	1,4	1,15	1,3	1,41	1,4
Ta	0,0	0,07	0,17	0,16	0,09	0,0	0,18	0,1	0,16	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Ti	0,2	0,22	0,30	0,30	0,26	0,2	0,22	0,2	0,31	0,2
Zr	0,1	0,24	0,05	0,06	0,10	0,1	0,34	0,1	0,04	0,1
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Th	0,0	0,08	0,19	0,18	0,22	0,1	0,14	0,1	0,20	0,2
U	0,0	0,06	0,13	0,12	0,04	0,0	0,20	0,0	0,11	0,0
Si	0,1	0,25	0,07	0,06	0,08	0,1	0,07	0,1	0,05	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Ce	0,0	0,02	0,01	0,01	0,03	0,0	0,02	0,0	0,02	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
V	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Fe	0,2	0,15	0,18	0,13	0,14	0,1	0,16	0,1	0,16	0,1
Mn	0,0	0,00	0,01	0,01	0,01	0,0	0,02	0,0	0,01	0,0
Mg	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Ca	0,2	0,31	0,81	0,68	0,58	0,6	0,49	0,3	0,76	0,7
Ba	0,0	0,08	0,00	0,00	0,00	0,0	0,01	0,0	0,00	0,0
Sr	0,0	0,07	0,13	0,14	0,10	0,1	0,12	0,1	0,17	0,1
Na	0,0	0,00	0,05	0,04	0,04	0,0	0,00	0,0	0,07	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
F	0,0	0,00	0,15	0,16	0,07	0,1	0,02	0,0	0,18	0,1
O	4,0	4,19	6,41	5,91	5,52	5,6	5,52	5,1	6,35	5,9
OH	2,9	2,79	0,43	0,92	1,40	1,2	1,45	1,7	0,46	0,8
A-vac	1,2	1,16	0,40	0,61	0,77	0,7	0,77	0,9	0,42	0,5

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

% (peso) de óxidos

Amostr	B-									
	Pirocloro 1									
Análise	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Nb₂O₅	57,3	51,4	50,0	49,6	43,9	44,1	52,6	55,3	44,3	41,9
Ta₂O₅	2,66	3,22	3,89	3,78	5,89	6,42	2,43	1,73	6,56	6,48
As₂O₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
TiO₂	4,34	3,62	3,51	3,63	3,33	3,14	3,94	4,32	3,49	3,45
ZrO₂	1,26	4,57	5,88	7,08	8,87	8,87	1,51	3,13	6,37	9,78
HfO₂	0,00	0,01	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,13
ThO₂	7,42	12,1	10,6	11,3	10,8	10,0	6,19	10,1	9,54	11,0
UO₂	1,76	0,80	1,45	1,35	4,60	4,28	1,39	0,64	5,49	3,94
SiO₂	0,00	1,83	2,37	3,09	0,20	0,17	0,00	0,05	0,60	0,12
La₂O₃	0,13	0,22	0,26	0,20	0,25	0,17	0,10	0,24	0,30	0,14
Ce₂O₃	1,24	1,15	2,31	1,62	2,18	1,97	1,18	1,18	2,05	1,85
Pr₂O₃	0,04	0,00	0,00	0,16	0,12	0,35	0,00	0,04	0,30	0,19
Nd₂O₃	0,00	0,42	0,61	0,70	0,17	0,64	0,42	0,36	0,44	0,49
Sm₂O₃	0,00	0,00	0,06	0,05	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Eu₂O₃	0,10	0,08	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03
Gd₂O₃	0,01	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
Tb₂O₃	0,00	0,00	0,79	0,00	1,15	0,86	0,18	0,00	0,00	0,71
Dy₂O₃	0,00	0,00	0,02	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
Ho₂O₃	0,00	0,01	0,10	0,04	0,03	0,00	0,00	0,10	0,00	0,05
Er₂O₃	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,00
Tm₂O₃	0,00	0,18	0,29	0,01	0,17	0,12	0,37	0,06	0,09	0,18
Yb₂O₃	0,19	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,10	0,18	0,33	0,00
Lu₂O₃	0,00	0,00	0,15	0,19	0,00	0,12	0,00	0,08	0,17	0,00
V₂O₃	0,03	0,09	0,04	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00
Y₂O₃	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,14	0,00	0,00
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
FeO	2,01	3,87	4,32	3,92	1,48	1,69	1,65	1,67	1,95	1,84
MnO	0,35	0,83	0,92	0,84	0,21	0,22	0,35	0,15	0,15	0,25
MgO	0,04	0,07	0,12	0,11	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03
PbO	0,21	0,07	0,15	0,14	0,20	0,10	0,15	0,16	0,07	0,19
CaO	14,3	7,60	7,78	7,63	10,2	10,8	14,7	14,1	11,5	11,2
BaO	0,03	0,29	0,19	0,16	0,09	0,23	0,07	0,08	0,12	0,00
SrO	0,81	1,94	1,10	1,27	2,59	2,37	1,51	0,66	1,02	0,96
Na₂O	1,80	0,00	0,00	0,00	1,00	1,06	1,74	2,15	1,58	0,99
K₂O	0,04	0,03	0,02	0,01	0,04	0,03	0,05	0,02	0,05	0,04
F	1,82	0,55	0,51	0,34	0,85	0,83	1,93	2,05	1,36	1,39

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	<u>B-</u>									
	Pirocloro 1									
Análise	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Nb	1,6	1,49	1,42	1,35	1,3	1,39	1,6	1,64	1,41	1,3
Ta	0,0	0,05	0,06	0,06	0,1	0,12	0,0	0,03	0,12	0,1
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Ti	0,2	0,17	0,16	0,16	0,1	0,16	0,2	0,21	0,18	0,1
Zr	0,0	0,14	0,18	0,20	0,3	0,30	0,0	0,10	0,22	0,3
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Th	0,1	0,17	0,15	0,15	0,1	0,16	0,1	0,15	0,15	0,1
U	0,0	0,01	0,02	0,01	0,0	0,06	0,0	0,00	0,08	0,0
Si	0,0	0,12	0,15	0,19	0,0	0,01	0,0	0,00	0,04	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,02	0,05	0,03	0,0	0,05	0,0	0,02	0,05	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,01	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0	0,00	0,01	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,01	0,00	0,0	0,02	0,0	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Fe	0,1	0,20	0,22	0,19	0,0	0,09	0,0	0,09	0,11	0,1
Mn	0,0	0,04	0,04	0,04	0,0	0,01	0,0	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,01	0,01	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Ca	1,0	0,52	0,52	0,49	0,7	0,81	1,1	0,99	0,87	0,8
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,07	0,04	0,04	0,1	0,09	0,0	0,02	0,04	0,0
Na	0,2	0,00	0,00	0,00	0,1	0,14	0,2	0,27	0,21	0,1
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
F	0,3	0,11	0,10	0,06	0,1	0,18	0,4	0,42	0,30	0,3
O	5,9	5,14	5,15	4,86	5,9	5,96	6,2	6,03	6,10	5,8
OH	0,6	1,73	1,74	2,06	0,8	0,85	0,3	0,54	0,58	0,7
A-vac	0,4	0,90	0,87	0,97	0,5	0,48	0,2	0,37	0,39	0,5

% (peso) de óxidos

Amostr	B						B1			
	Pirocloro 1						Pirocloro 1			
Análise	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Nb ₂ O ₅	55,6	50,5	58,5	61,0	57,1	60,2	36,4	36,5	30,1	32,3
Ta ₂ O ₅	1,76	2,01	0,92	0,55	2,77	0,93	13,8	13,0	12,2	11,0
As ₂ O ₅	0,11	0,00	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	3,22	3,00	2,94	2,85	3,17	2,97	5,21	5,36	4,50	4,68
ZrO ₂	4,77	4,69	5,37	3,42	5,58	5,29	7,69	8,54	8,22	7,04
HfO ₂	0,41	0,15	0,03	0,20	0,39	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00
ThO ₂	5,56	4,53	3,73	4,24	5,94	5,68	8,88	8,14	6,75	7,42
UO ₂	1,82	3,81	0,00	0,10	0,49	0,16	16,6	17,0	15,8	14,7
SiO ₂	0,73	3,75	0,12	0,00	0,31	0,63	0,03	0,01	1,48	1,67
La ₂ O ₃	0,07	0,27	0,14	0,21	0,24	0,09	0,11	0,00	0,17	0,01
Ce ₂ O ₃	1,10	1,01	1,14	1,44	0,90	0,53	0,99	1,14	0,68	0,69
Pr ₂ O ₃	0,00	0,06	0,15	0,18	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02	0,09
Nd ₂ O ₃	0,41	0,31	0,43	0,26	0,34	0,28	0,38	0,30	0,30	0,29
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,01	0,03	0,00	0,05	0,00
Eu ₂ O ₃	0,00	0,09	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,00	0,16	0,01	0,00	0,21	0,00	0,18	0,00	0,20	0,15
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	0,00	0,51	1,53	0,00	0,61
Dy ₂ O ₃	0,00	0,07	0,32	0,26	0,04	0,32	0,53	0,00	0,31	0,04
Ho ₂ O ₃	0,22	0,20	0,11	0,00	0,00	0,07	0,19	0,03	0,00	0,00
Er ₂ O ₃	0,00	0,04	0,08	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Tm ₂ O ₃	0,00	0,19	0,08	0,14	0,08	0,00	0,00	0,35	0,23	0,11
Yb ₂ O ₃	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
Lu ₂ O ₃	0,08	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,11	0,00	0,00
V ₂ O ₃	0,05	0,14	0,02	0,00	0,03	0,00	0,05	0,05	0,00	0,04
Y ₂ O ₃	0,00	0,00	0,36	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,02	0,15	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
FeO	1,94	2,14	0,46	0,57	1,49	1,90	2,58	2,36	3,13	3,50
MnO	0,08	0,05	0,00	0,04	0,02	0,07	0,17	0,09	0,18	0,10
MgO	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03
PbO	0,19	0,18	0,18	0,13	0,19	0,19	0,27	0,28	0,21	0,29
CaO	8,67	6,19	16,7	16,6	13,6	9,46	2,94	2,98	8,27	8,24
BaO	0,89	4,10	0,09	0,00	0,51	0,70	0,00	0,02	0,13	0,22
SrO	5,75	5,12	0,23	0,13	2,78	5,72	0,78	1,30	3,17	2,75
Na ₂ O	0,54	0,00	5,93	4,96	1,14	0,11	0,07	0,06	0,18	0,14
K ₂ O	0,02	0,04	0,10	0,03	0,03	0,06	0,15	0,13	0,07	0,05
F	0,77	0,34	2,71	3,02	1,28	1,18	0,18	0,00	0,33	0,20

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B						B1			
	Pirocloro 1						Pirocloro 1			
Análise	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
Nb	1,6	1,42	1,669	1,7	1,60	1,6	1,1	1,16	1,0	1,10
Ta	0,0	0,03	0,016	0,0	0,04	0,0	0,2	0,25	0,2	0,22
As	0,0	0,00	0,001	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Ti	0,1	0,14	0,140	0,1	0,14	0,1	0,2	0,28	0,2	0,26
Zr	0,1	0,14	0,165	0,1	0,17	0,1	0,2	0,29	0,3	0,26
Hf	0,0	0,00	0,001	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Th	0,0	0,06	0,054	0,0	0,08	0,0	0,1	0,13	0,1	0,12
U	0,0	0,05	0,000	0,0	0,00	0,0	0,2	0,26	0,2	0,24
Si	0,0	0,23	0,008	0,0	0,02	0,0	0,0	0,00	0,1	0,12
La	0,0	0,00	0,003	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Ce	0,0	0,02	0,027	0,0	0,02	0,0	0,0	0,03	0,0	0,01
Pr	0,0	0,00	0,003	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Nd	0,0	0,00	0,010	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Sm	0,0	0,00	0,000	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Eu	0,0	0,00	0,000	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Gd	0,0	0,00	0,000	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Tb	0,0	0,00	0,000	0,0	0,02	0,0	0,0	0,03	0,0	0,01
Dy	0,0	0,00	0,007	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Ho	0,0	0,00	0,002	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Er	0,0	0,00	0,002	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Tm	0,0	0,00	0,002	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Yb	0,0	0,00	0,000	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Lu	0,0	0,00	0,000	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
V	0,0	0,00	0,001	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Y	0,0	0,00	0,012	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Al	0,0	0,01	0,000	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Fe	0,1	0,11	0,024	0,0	0,07	0,0	0,1	0,13	0,2	0,22
Mn	0,0	0,00	0,000	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Mg	0,0	0,00	0,000	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Pb	0,0	0,00	0,003	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Ca	0,5	0,41	1,129	1,1	0,91	0,6	0,2	0,22	0,6	0,66
Ba	0,0	0,10	0,002	0,0	0,01	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
Sr	0,2	0,18	0,008	0,0	0,10	0,2	0,0	0,05	0,1	0,12
Na	0,0	0,00	0,727	0,6	0,13	0,0	0,0	0,00	0,0	0,02
K	0,0	0,00	0,009	0,0	0,00	0,0	0,0	0,01	0,0	0,00
F	0,1	0,06	0,541	0,6	0,25	0,2	0,0	0,00	0,0	0,05
O	5,1	4,70	6,178	6,1	5,56	4,9	5,1	5,12	6,1	6,09
OH	1,6	2,23	0,281	0,2	1,18	1,8	1,7	1,87	0,7	0,85
A-vac	0,8	1,00	0,000	0,0	0,59	0,9	1,0	1,06	0,4	0,50

% (peso) de óxidos

Amostr							Pirocloro 2			
Análise	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
Nb₂O₅	44,9	45,2	54,8	56,5	52,1	53,1	33,2	32,7	32,3	31,8
Ta₂O₅	8,45	6,55	0,84	1,65	3,70	4,12	11,2	12,8	12,0	11,5
As₂O₅	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO₂	5,44	5,29	4,99	4,55	4,66	4,64	4,65	4,68	4,53	4,43
ZrO₂	3,20	2,92	2,22	2,17	2,72	2,66	7,67	6,98	7,30	5,94
HfO₂	0,11	0,20	0,25	0,00	0,20	0,09	0,16	0,17	0,00	0,06
ThO₂	13,3	12,8	9,02	8,00	12,7	12,5	8,44	8,40	7,87	9,63
UO₂	5,19	4,92	0,20	0,19	1,16	1,05	14,6	15,5	16,6	13,1
SiO₂	1,72	1,41	0,07	0,00	0,00	0,40	1,15	1,10	1,19	1,67
La₂O₃	0,18	0,24	0,28	0,14	0,17	0,18	0,06	0,25	0,16	0,14
Ce₂O₃	1,60	1,25	1,85	1,93	1,77	1,27	0,88	0,72	0,84	0,73
Pr₂O₃	0,15	0,00	0,10	0,41	0,09	0,07	0,29	0,07	0,21	0,11
Nd₂O₃	0,75	0,41	0,48	0,69	0,28	0,36	0,40	0,29	0,28	0,55
Sm₂O₃	0,05	0,01	0,06	0,00	0,00	0,14	0,02	0,00	0,06	0,04
Eu₂O₃	0,05	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Gd₂O₃	0,06	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,16	0,00
Tb₂O₃	0,00	0,26	0,44	0,39	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,93
Dy₂O₃	0,00	0,15	0,25	0,21	0,00	0,17	0,30	0,00	0,06	0,00
Ho₂O₃	0,04	0,14	0,09	0,04	0,00	0,01	0,08	0,00	0,00	0,15
Er₂O₃	0,18	0,21	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tm₂O₃	0,00	0,00	0,08	0,25	0,13	0,22	0,22	0,30	0,38	0,24
Yb₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,02	0,00
Lu₂O₃	0,00	0,00	0,29	0,06	0,08	0,17	0,12	0,00	0,23	0,00
V₂O₃	0,05	0,00	0,04	0,05	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y₂O₃	0,00	0,00	0,12	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al₂O₃	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00
FeO	2,67	5,36	1,15	0,87	2,52	3,53	3,76	3,93	3,61	3,32
MnO	0,22	0,55	0,10	0,07	0,13	0,22	0,16	0,15	0,20	0,14
MgO	0,07	0,05	0,00	0,00	0,03	0,07	0,07	0,04	0,08	0,04
PbO	0,14	0,15	0,08	0,22	0,16	0,19	0,25	0,19	0,23	0,17
CaO	6,75	7,27	15,6	17,0	13,2	5,81	7,57	7,66	7,44	8,58
BaO	0,26	0,22	0,01	0,06	0,06	0,15	0,21	0,14	0,00	0,10
SrO	1,74	1,59	0,85	0,33	1,22	3,85	1,47	1,70	1,70	3,36
Na₂O	0,04	0,15	3,69	1,93	0,79	0,17	0,05	0,03	0,01	0,05
K₂O	0,09	0,03	0,01	0,02	0,06	0,02	0,05	0,05	0,07	0,05
F	0,19	0,15	2,38	2,87	1,25	0,36	0,07	0,11	0,18	0,31

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr		Pirocloro 2								
Análise	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
Nb	1,3	1,3	1,6	1,6	1,5	1,5	1,12	1,1	1,1	1,12
Ta	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,22	0,2	0,2	0,24
As	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Ti	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,26	0,2	0,2	0,26
Zr	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,28	0,2	0,2	0,22
Hf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Th	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,14	0,1	0,1	0,17
U	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,24	0,2	0,2	0,22
Si	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,08	0,0	0,0	0,13
La	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Ce	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,02
Pr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Nd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,01
Sm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Eu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Gd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Tb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,05
Dy	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Ho	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Er	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Tm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Yb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Lu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
V	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Y	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Al	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Fe	0,1	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,23	0,2	0,2	0,21
Mn	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,01
Mg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Pb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Ca	0,4	0,5	1,1	1,1	0,9	0,4	0,60	0,6	0,6	0,71
Ba	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Sr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,06	0,0	0,0	0,15
Na	0,0	0,0	0,4	0,2	0,1	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
F	0,0	0,0	0,5	0,5	0,2	0,0	0,01	0,0	0,0	0,07
O	5,2	5,7	6,4	6,2	6,1	5,1	5,97	6,0	6,0	6,50
OH	1,6	1,2	0,0	0,1	0,6	1,7	1,00	0,9	0,8	0,42
A-vac	0,9	0,6	0,0	0,2	0,4	0,9	0,59	0,5	0,5	0,37

% (peso) de óxidos

Amostr					B1					
Análise	Piroclor									
	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6
Nb ₂ O ₅	51,2	51,5	55,5	56,2	40,4	40,0	55,9	53,9	44,7	52,0
Ta ₂ O ₅	2,75	2,66	1,08	0,85	7,56	6,39	3,62	2,88	4,92	4,78
As ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,05	0,00	0,00
TiO ₂	4,92	4,88	4,39	4,35	3,77	3,77	4,05	3,79	3,52	4,42
ZrO ₂	2,68	2,96	1,94	2,05	9,75	10,3	2,32	2,50	8,42	1,24
HfO ₂	0,00	0,00	0,00	0,27	0,14	0,14	0,00	0,03	0,00	0,22
ThO ₂	14,2	15,2	7,82	8,14	8,36	7,70	7,61	8,57	12,0	14,0
UO ₂	1,44	1,43	0,21	0,15	8,67	8,84	2,64	1,78	4,02	1,83
SiO ₂	0,05	0,00	0,00	0,00	3,61	0,60	0,07	1,41	0,38	0,66
La ₂ O ₃	0,37	0,18	0,36	0,12	0,18	0,21	0,00	0,02	0,01	0,13
Ce ₂ O ₃	1,74	1,26	1,64	1,40	1,04	0,92	1,09	1,37	1,99	0,75
Pr ₂ O ₃	0,11	0,27	0,19	0,23	0,00	0,00	0,04	0,00	0,14	0,45
Nd ₂ O ₃	0,53	0,54	0,51	0,41	0,27	0,30	0,50	0,29	0,69	0,36
Sm ₂ O ₃	0,00	0,07	0,00	0,09	0,04	0,00	0,09	0,00	0,08	0,00
Eu ₂ O ₃	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,06	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,09	0,03	0,22	0,00	2,22
Dy ₂ O ₃	0,01	0,00	0,53	0,24	0,00	0,13	0,04	0,00	0,00	0,00
Ho ₂ O ₃	0,36	0,01	0,12	0,00	0,05	0,07	0,08	0,12	0,00	0,20
Er ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,04	0,00	0,00
Tm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,05	0,08	0,06	0,19	0,17	0,00	0,03
Yb ₂ O ₃	0,09	0,00	0,19	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Lu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,12	0,19	0,15
V ₂ O ₃	0,00	0,03	0,06	0,00	0,01	0,02	0,00	0,04	0,05	0,05
Y ₂ O ₃	0,00	0,00	0,26	0,43	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,01	0,00	0,00	0,01	0,15	0,01	0,00	0,08	0,00	0,00
FeO	2,32	2,37	0,70	0,81	1,64	2,19	1,57	1,95	4,16	2,00
MnO	0,23	0,20	0,13	0,08	0,18	0,08	0,14	0,14	0,40	0,17
MgO	0,01	0,02	0,03	0,00	0,09	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
PbO	0,22	0,24	0,23	0,14	0,21	0,33	0,17	0,16	0,17	0,25
CaO	10,4	8,61	16,4	16,4	3,62	8,57	13,6	9,35	6,85	6,86
BaO	0,32	0,20	0,06	0,04	1,79	0,05	0,00	0,32	0,08	1,00
SrO	2,13	3,00	0,26	0,11	1,32	1,76	0,81	5,21	3,03	3,82
Na ₂ O	0,64	0,39	4,81	5,17	0,00	0,17	1,58	0,24	0,12	0,36
K ₂ O	0,04	0,09	0,02	0,00	0,11	0,03	0,06	0,05	0,04	0,04
F	0,80	0,57	3,16	2,46	0,32	0,53	1,84	1,04	0,68	0,32

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B1									
	Piroclor									
Análise	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6
Nb	1,5	1,59	1,68	1,69	1,14	1,27	1,65	1,58	1,40	1,5
Ta	0,0	0,05	0,02	0,01	0,12	0,12	0,06	0,05	0,09	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,2	0,25	0,22	0,21	0,17	0,19	0,19	0,18	0,18	0,2
Zr	0,0	0,09	0,06	0,06	0,29	0,35	0,07	0,07	0,28	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,2	0,23	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,19	0,2
U	0,0	0,02	0,00	0,00	0,12	0,13	0,03	0,02	0,06	0,0
Si	0,0	0,00	0,00	0,00	0,23	0,04	0,00	0,09	0,02	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,1	0,13	0,04	0,04	0,08	0,12	0,08	0,10	0,24	0,1
Mn	0,0	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	0,7	0,63	1,18	1,17	0,24	0,64	0,95	0,65	0,51	0,4
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,11	0,01	0,00	0,04	0,07	0,03	0,19	0,12	0,1
Na	0,0	0,05	0,62	0,66	0,00	0,02	0,20	0,03	0,01	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,1	0,12	0,67	0,51	0,06	0,11	0,38	0,21	0,15	0,0
O	5,9	5,73	6,60	6,57	4,21	5,48	5,87	5,38	5,56	5,6
OH	0,8	1,14	0,00	0,00	2,72	1,39	0,74	1,40	1,28	1,3
A-vac	0,5	0,71	0,00	0,00	1,27	0,75	0,49	0,78	0,74	0,7

% (peso) de óxidos

Amostr	B-									
	Piroclor									
Análise	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6
Nb ₂ O ₅	55,9	56,8	47,4	37,8	58,4	56,8	63,4	61,9	63,8	63,9
Ta ₂ O ₅	2,56	3,43	3,84	4,94	1,51	1,13	1,13	0,81	0,03	0,43
As ₂ O ₅	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
TiO ₂	4,02	4,52	4,00	4,34	4,88	4,97	4,08	4,26	4,12	4,44
ZrO ₂	2,66	2,06	4,86	3,37	2,57	2,52	1,37	0,80	0,47	0,44
HfO ₂	0,00	0,13	0,00	0,30	0,03	0,13	0,39	0,00	0,00	0,00
ThO ₂	8,73	7,74	14,9	17,4	3,60	4,77	2,07	2,16	0,45	0,76
UO ₂	1,14	2,10	1,63	5,53	0,20	0,36	0,12	0,40	0,00	0,05
SiO ₂	0,25	0,00	2,88	10,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La ₂ O ₃	0,17	0,11	0,14	0,03	0,28	0,38	0,39	0,03	0,21	0,21
Ce ₂ O ₃	1,51	1,01	1,62	0,89	3,02	2,18	2,76	2,29	2,00	2,21
Pr ₂ O ₃	0,08	0,12	0,30	0,04	0,11	0,00	0,20	0,15	0,20	0,29
Nd ₂ O ₃	0,33	0,30	0,51	0,47	1,10	0,71	0,46	0,35	0,45	0,51
Sm ₂ O ₃	0,09	0,02	0,00	0,12	0,21	0,00	0,02	0,16	0,09	0,03
Eu ₂ O ₃	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,12	0,02	0,10	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,15	0,25	0,00	0,04	0,00	0,15	0,00	0,17	0,06	0,00
Tb ₂ O ₃	0,00	0,10	1,49	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,38	0,10	0,00	0,40	0,07	0,32	0,00	0,00	0,00
Ho ₂ O ₃	0,00	0,00	0,07	0,06	0,30	0,15	0,14	0,33	0,05	0,00
Er ₂ O ₃	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,02	0,00
Tm ₂ O ₃	0,27	0,24	0,07	0,33	0,00	0,11	0,26	0,06	0,09	0,01
Yb ₂ O ₃	0,25	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,30	0,00	0,03	0,00	0,08	0,00	0,00	0,02
V ₂ O ₃	0,02	0,05	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,24	0,40	0,45	0,37	0,43
Al ₂ O ₃	0,01	0,00	0,09	0,11	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00
FeO	1,97	1,65	1,96	1,65	0,61	0,46	0,19	0,22	0,29	0,21
MnO	0,17	0,17	0,16	0,21	0,04	0,10	0,03	0,08	0,00	0,04
MgO	0,00	0,00	0,03	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
PbO	0,18	0,21	0,06	0,09	0,21	0,09	0,08	0,08	0,16	0,18
CaO	13,2	13,6	3,94	5,14	17,2	17,0	17,5	17,4	17,5	17,8
BaO	0,15	0,07	1,81	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,15
SrO	3,97	1,36	2,50	1,06	0,15	0,13	0,23	0,16	0,12	0,16
Na ₂ O	0,13	0,62	0,00	0,05	5,51	5,47	6,43	6,27	6,67	6,57
K ₂ O	0,06	0,04	0,09	0,17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
F	1,62	1,51	0,43	0,10	2,66	2,41	3,32	3,21	3,76	2,79

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B-									
	Piroclor									
Análise	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6
Nb	1,6	1,65	1,38	0,99	1,66	1,65	1,74	1,75	1,79	1,7
Ta	0,0	0,06	0,06	0,07	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,21	0,19	0,19	0,23	0,24	0,18	0,20	0,19	0,2
Zr	0,0	0,06	0,15	0,09	0,07	0,07	0,04	0,02	0,01	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,1	0,11	0,21	0,23	0,05	0,07	0,02	0,03	0,00	0,0
U	0,0	0,03	0,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,0	0,00	0,19	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,02	0,03	0,01	0,07	0,05	0,06	0,05	0,04	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,1	0,08	0,10	0,08	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,0
Mn	0,0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	0,9	0,93	0,27	0,32	1,16	1,17	1,14	1,17	1,16	1,1
Ba	0,0	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sr	0,1	0,05	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Na	0,0	0,07	0,00	0,00	0,67	0,68	0,75	0,76	0,80	0,7
K	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,3	0,30	0,08	0,02	0,53	0,49	0,64	0,63	0,73	0,5
O	5,9	5,74	4,78	4,37	6,43	6,38	6,33	6,37	6,27	6,2
OH	0,7	0,95	2,13	2,60	0,03	0,12	0,02	0,00	0,00	0,1
A-vac	0,5	0,61	1,11	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

% (peso) de óxidos

Amostr	B-									
	Pirocloro 1									
Análise	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Nb ₂ O ₅	65,5	66,0	41,7	46,6	45,3	42,7	40,2	40,6	39,5	44,8
Ta ₂ O ₅	0,36	0,50	7,15	6,84	4,85	6,64	7,54	6,58	6,56	6,43
As ₂ O ₅	0,01	0,02	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	4,03	3,05	6,42	6,06	6,40	8,09	6,17	5,90	5,84	5,91
ZrO ₂	0,47	0,36	4,31	2,22	2,62	1,91	4,64	4,29	6,23	4,47
HfO ₂	0,03	0,00	0,04	0,04	0,10	0,05	0,15	0,36	0,00	0,00
ThO ₂	0,48	0,26	11,8	9,17	10,1	9,50	10,4	11,1	11,5	11,8
UO ₂	0,02	0,06	4,13	3,34	3,44	4,66	5,36	3,96	6,42	3,44
SiO ₂	0,00	0,00	2,79	0,91	1,43	1,64	3,18	2,79	1,90	2,06
La ₂ O ₃	0,13	0,31	0,26	0,10	0,24	0,17	0,23	0,11	0,13	0,26
Ce ₂ O ₃	1,74	2,13	1,58	1,32	1,63	2,53	1,54	1,73	1,94	1,82
Pr ₂ O ₃	0,26	0,18	0,35	0,23	0,36	0,00	0,05	0,08	0,20	0,00
Nd ₂ O ₃	0,53	0,45	0,50	0,40	0,54	0,64	0,54	0,69	0,30	0,54
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,23	0,05	0,10	0,09
Eu ₂ O ₃	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,18
Tb ₂ O ₃	1,88	0,59	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	0,00
Dy ₂ O ₃	0,63	0,00	0,04	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Ho ₂ O ₃	0,23	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,14	0,00	0,01	0,02
Er ₂ O ₃	0,26	0,07	0,00	0,19	0,00	0,04	0,16	0,00	0,00	0,00
Tm ₂ O ₃	0,23	0,00	0,00	0,15	0,21	0,03	0,00	0,00	0,00	0,23
Yb ₂ O ₃	0,00	0,11	0,00	0,00	0,19	0,13	0,15	0,05	0,00	0,00
Lu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,10	0,16	0,00	0,00	0,10
V ₂ O ₃	0,02	0,00	0,11	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,00	0,01
Y ₂ O ₃	0,45	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00
FeO	0,24	0,23	3,26	3,54	3,65	3,37	3,37	3,40	3,13	2,81
MnO	0,00	0,03	0,23	0,29	0,25	0,31	0,19	0,33	0,32	0,21
MgO	0,00	0,02	0,05	0,02	0,00	0,03	0,08	0,10	0,08	0,01
PbO	0,12	0,08	0,21	0,17	0,31	0,20	0,20	0,26	0,12	0,15
CaO	17,7	17,6	8,77	11,2	11,1	10,1	8,44	9,99	9,87	10,0
BaO	0,00	0,00	0,20	0,15	0,19	0,12	0,20	0,24	0,00	0,13
SrO	0,18	0,15	1,47	2,13	1,78	2,03	1,72	1,88	1,23	1,04
Na ₂ O	6,72	6,88	0,07	0,20	0,18	0,03	0,03	0,06	0,51	0,34
K ₂ O	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00	0,03	0,02	0,06	0,05	0,05
F	3,31	3,34	0,24	0,55	0,41	0,50	0,21	0,00	0,70	0,60

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B-									
	Pirocloro 1									
Análise	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Nb	1,7	1,83	1,22	1,42	1,39	1,2	1,18	1,2	1,22	1,3
Ta	0,0	0,00	0,12	0,12	0,09	0,1	0,13	0,1	0,12	0,1
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Ti	0,1	0,14	0,31	0,30	0,32	0,4	0,30	0,2	0,30	0,2
Zr	0,0	0,01	0,13	0,07	0,08	0,0	0,14	0,1	0,20	0,1
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,17	0,14	0,15	0,1	0,15	0,1	0,18	0,1
U	0,0	0,00	0,06	0,05	0,05	0,0	0,07	0,0	0,09	0,0
Si	0,0	0,00	0,18	0,06	0,09	0,1	0,21	0,1	0,13	0,1
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Ce	0,0	0,04	0,03	0,03	0,04	0,0	0,03	0,0	0,04	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Nd	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Tb	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,02	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Y	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Fe	0,0	0,01	0,17	0,20	0,20	0,1	0,18	0,1	0,18	0,1
Mn	0,0	0,00	0,01	0,01	0,01	0,0	0,01	0,0	0,01	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Ca	1,1	1,16	0,61	0,81	0,80	0,7	0,59	0,7	0,72	0,6
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Sr	0,0	0,00	0,05	0,08	0,07	0,0	0,06	0,0	0,04	0,0
Na	0,7	0,82	0,00	0,02	0,02	0,0	0,00	0,0	0,06	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
F	0,6	0,65	0,05	0,11	0,08	0,1	0,04	0,0	0,15	0,1
O	6,3	6,34	5,25	5,76	5,79	5,5	5,18	5,4	5,75	5,4
OH	0,0	0,00	1,69	1,12	1,11	1,3	1,77	1,5	1,09	1,4
A-vac	0,0	0,00	0,81	0,59	0,57	0,6	0,82	0,6	0,57	0,7

% (peso) de óxidos

Amostr	Pirocloro 2					B- Pirocloro 1			B-25 Pirocloro 1	
Análise	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
Nb ₂ O ₅	43,3	43,0	43,3	44,0	42,6	25,0	25,7	23,7	46,2	51,1
Ta ₂ O ₅	5,71	6,11	4,43	6,04	5,92	21,1	17,0	18,9	7,25	5,63
As ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	6,56	7,01	6,24	7,18	6,75	5,03	5,42	5,15	3,49	3,42
ZrO ₂	3,86	3,89	3,48	3,39	3,41	2,45	2,99	2,65	7,14	7,31
HfO ₂	0,00	0,00	0,36	0,00	0,18	0,00	0,00	0,12	0,25	0,00
ThO ₂	12,6	13,1	11,4	11,8	12,1	6,98	7,35	7,08	5,11	6,24
UO ₂	2,63	3,23	2,48	3,32	3,03	6,61	7,72	6,58	5,88	3,90
SiO ₂	0,83	2,46	1,94	2,51	2,28	8,87	9,13	9,26	0,11	0,12
La ₂ O ₃	0,10	0,17	0,32	0,25	0,24	0,00	0,01	0,13	0,23	0,18
Ce ₂ O ₃	1,96	1,46	2,21	1,84	1,72	0,76	0,73	0,78	1,47	1,22
Pr ₂ O ₃	0,09	0,12	0,14	0,25	0,04	0,00	0,18	0,00	0,01	0,37
Nd ₂ O ₃	0,47	0,42	0,43	0,79	0,62	0,15	0,25	0,06	0,30	0,44
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,06	0,15	0,09	0,09	0,00	0,01	0,13
Eu ₂ O ₃	0,05	0,00	0,08	0,09	0,00	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,00	0,28	0,00	0,21	0,14	0,12	0,01	0,01	0,00	0,00
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	2,51	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,14	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,25	0,12	0,02	0,00
Ho ₂ O ₃	0,00	0,01	0,11	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,20
Er ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Tm ₂ O ₃	0,00	0,12	0,16	0,24	0,12	0,87	0,15	0,31	0,31	0,31
Yb ₂ O ₃	0,09	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,22
Lu ₂ O ₃	0,00	0,18	0,28	0,00	0,00	0,54	0,16	0,02	0,00	0,03
V ₂ O ₃	0,07	0,05	0,07	0,07	0,04	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00
Y ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
Al ₂ O ₃	0,00	0,01	0,05	0,00	0,03	0,31	0,34	0,30	0,00	0,00
FeO	3,88	3,46	4,87	3,23	3,27	2,54	2,59	2,37	1,86	1,50
MnO	0,56	0,63	0,79	0,38	0,38	0,03	0,10	0,07	0,07	0,07
MgO	0,04	0,03	0,14	0,03	0,05	0,11	0,14	0,16	0,03	0,03
PbO	0,25	0,17	0,13	0,15	0,11	0,46	0,31	0,33	0,11	0,26
CaO	10,1	7,88	9,70	9,53	8,88	6,38	6,78	6,40	12,9	14,0
BaO	0,16	0,06	0,13	0,12	0,20	2,98	3,17	2,89	0,13	0,00
SrO	1,43	1,45	1,16	1,37	1,39	4,75	4,07	4,17	0,89	0,48
Na ₂ O	0,42	0,30	0,53	0,18	0,12	0,05	0,07	0,04	3,09	3,79
K ₂ O	0,06	0,10	0,06	0,04	0,07	0,06	0,08	0,05	0,05	0,06
F	0,70	0,54	0,73	0,23	0,39	0,33	0,32	0,20	1,42	1,90

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	Pirocloro 2					B- Pirocloro 1			B- Pirocloro 1	
Análise	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
Nb	1,3	1,25	1,32	1,27	1,27	0,71	0,7	0,6	1,42	1,4
Ta	0,1	0,10	0,08	0,10	0,10	0,36	0,2	0,3	0,13	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ti	0,3	0,34	0,31	0,34	0,33	0,23	0,2	0,2	0,18	0,1
Zr	0,1	0,12	0,11	0,10	0,11	0,07	0,0	0,0	0,23	0,2
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Th	0,1	0,19	0,17	0,17	0,18	0,10	0,1	0,1	0,08	0,0
U	0,0	0,04	0,03	0,04	0,04	0,09	0,1	0,0	0,08	0,0
Si	0,0	0,16	0,13	0,16	0,15	0,57	0,5	0,6	0,00	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ce	0,0	0,03	0,05	0,04	0,04	0,01	0,0	0,0	0,03	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Nd	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0	0,0	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0	0,0	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,0	0,0	0,00	0,0
Fe	0,2	0,18	0,27	0,17	0,18	0,13	0,1	0,1	0,10	0,0
Mn	0,0	0,03	0,04	0,02	0,02	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,0	0,0	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ca	0,7	0,54	0,70	0,65	0,63	0,43	0,4	0,4	0,94	0,9
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,0	0,0	0,00	0,0
Sr	0,0	0,05	0,04	0,05	0,05	0,17	0,1	0,1	0,03	0,0
Na	0,0	0,03	0,07	0,02	0,01	0,00	0,0	0,0	0,41	0,4
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
F	0,1	0,11	0,15	0,04	0,08	0,06	0,0	0,0	0,30	0,3
O	5,8	5,21	5,72	5,34	5,31	4,64	4,6	4,6	6,01	6,0
OH	1,0	1,67	1,12	1,60	1,60	2,28	2,3	2,3	0,68	0,5
A-vac	0,5	0,82	0,54	0,76	0,78	0,91	0,8	0,8	0,26	0,2

% (peso) de óxidos

Amostr	B-									
	Piroclor									
Análise	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Nb ₂ O ₅	40,6	51,4	54,7	55,7	44,3	41,2	41,5	42,7	48,1	39,2
Ta ₂ O ₅	10,1	6,10	3,80	3,33	9,08	9,55	9,53	10,1	7,88	9,63
As ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	3,18	2,87	4,64	2,94	5,18	5,01	4,84	4,91	4,16	3,53
ZrO ₂	10,0	7,84	1,31	6,19	2,89	2,88	3,14	3,37	4,40	6,86
HfO ₂	0,33	0,18	0,28	0,01	0,11	0,21	0,16	0,00	0,00	0,32
ThO ₂	3,52	4,97	8,12	5,39	9,52	8,87	12,4	9,78	11,0	8,43
UO ₂	9,72	2,20	0,95	0,44	8,61	8,60	4,51	7,79	6,35	9,01
SiO ₂	0,98	0,40	0,01	0,08	0,03	0,76	2,53	0,03	1,16	0,38
La ₂ O ₃	0,06	0,23	0,21	0,27	0,11	0,07	0,12	0,21	0,10	0,00
Ce ₂ O ₃	0,55	0,81	0,81	0,95	1,28	1,02	0,92	1,84	1,56	0,65
Pr ₂ O ₃	0,25	0,00	0,08	0,07	0,03	0,20	0,03	0,06	0,04	0,03
Nd ₂ O ₃	0,30	0,15	0,13	0,14	0,43	0,23	0,05	0,13	0,47	0,42
Sm ₂ O ₃	0,00	0,04	0,00	0,06	0,04	0,01	0,05	0,00	0,01	0,08
Eu ₂ O ₃	0,00	0,18	0,00	0,05	0,04	0,00	0,10	0,00	0,00	0,11
Gd ₂ O ₃	0,12	0,00	0,22	0,14	0,08	0,18	0,00	0,00	0,00	0,07
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,66	0,32	0,00	0,00	1,26	0,00	0,00	1,46
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,41
Ho ₂ O ₃	0,12	0,00	0,15	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,19
Er ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,03	0,22	0,00	0,05	0,00	0,00	0,04
Tm ₂ O ₃	0,10	0,14	0,00	0,16	0,44	0,00	0,26	0,18	0,05	0,00
Yb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,06
Lu ₂ O ₃	0,05	0,27	0,00	0,07	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,02
V ₂ O ₃	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,05	0,06	0,06	0,03	0,05
Y ₂ O ₃	0,00	0,18	0,32	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00
FeO	1,42	0,70	0,66	0,70	1,97	2,52	2,70	2,21	2,31	2,41
MnO	0,05	0,00	0,12	0,06	0,09	0,04	0,20	0,06	0,30	0,10
MgO	0,07	0,07	0,00	0,00	0,05	0,01	0,04	0,03	0,15	0,03
PbO	0,27	0,22	0,10	0,20	0,23	0,23	0,19	0,33	0,12	0,25
CaO	11,5	13,8	16,9	15,2	11,0	8,71	5,65	9,68	6,54	9,97
BaO	0,14	0,05	0,00	0,08	0,11	0,14	2,19	0,14	0,10	0,07
SrO	2,04	0,18	0,07	0,25	1,27	5,54	3,77	2,02	1,46	2,08
Na ₂ O	0,27	4,99	5,20	5,35	0,60	0,18	0,04	0,15	0,03	1,59
K ₂ O	0,04	0,16	0,03	0,05	0,08	0,05	0,09	0,05	0,07	0,05
F	1,02	2,43	2,82	2,72	0,40	0,89	0,37	0,42	0,37	0,84

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B-									
	Piroclor									
Análise	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Nb	1,2	1,47	1,64	1,60	1,43	1,36	1,28	1,40	1,42	1,3
Ta	0,1	0,10	0,06	0,05	0,17	0,19	0,17	0,20	0,14	0,1
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,13	0,23	0,14	0,27	0,27	0,24	0,26	0,20	0,1
Zr	0,3	0,24	0,04	0,19	0,10	0,10	0,10	0,11	0,14	0,2
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,07	0,12	0,07	0,15	0,14	0,19	0,16	0,16	0,1
U	0,1	0,03	0,01	0,00	0,13	0,14	0,06	0,12	0,09	0,1
Si	0,0	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,17	0,00	0,07	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,03	0,03	0,03	0,11	0,15	0,15	0,13	0,12	0,1
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	0,8	0,94	1,20	1,04	0,84	0,68	0,41	0,75	0,45	0,7
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,05	0,23	0,14	0,08	0,05	0,0
Na	0,0	0,61	0,67	0,66	0,08	0,02	0,00	0,02	0,00	0,2
K	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,2	0,48	0,59	0,54	0,09	0,20	0,08	0,09	0,07	0,1
O	5,3	5,72	6,67	6,07	6,12	6,03	5,29	5,93	5,07	6,2
OH	1,4	0,78	0,00	0,37	0,78	0,75	1,62	0,97	1,84	0,5
A-vac	0,7	0,23	0,00	0,08	0,51	0,55	0,86	0,63	1,00	0,3

% (peso) de óxidos

Amostr	B-			B-			B-			
	Pirocloro 1			Pirocloro 1						
Análise	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7
Nb ₂ O ₅	52,3	54,3	49,0	23,6	23,2	21,0	18,9	48,3	45,9	59,5
Ta ₂ O ₅	3,53	3,13	3,57	18,7	19,5	19,6	21,0	7,25	7,11	3,30
As ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	8,17	7,39	8,69	5,63	5,38	5,22	5,34	6,12	6,38	4,33
ZrO ₂	1,20	1,14	1,22	4,93	5,15	4,49	3,91	1,21	1,40	0,67
HfO ₂	0,36	0,03	0,00	0,24	0,15	0,26	0,13	0,19	0,00	0,00
ThO ₂	4,42	3,33	7,43	8,21	8,12	7,75	7,70	11,5	12,5	4,70
UO ₂	2,90	2,59	2,36	15,0	14,5	13,8	13,4	5,87	6,08	3,15
SiO ₂	0,04	0,00	0,65	4,79	5,78	5,80	7,01	0,79	0,78	0,26
La ₂ O ₃	0,25	0,19	0,23	0,00	0,07	0,10	0,01	0,14	0,00	0,03
Ce ₂ O ₃	3,35	2,77	2,73	0,81	0,55	0,75	0,29	0,56	0,76	0,73
Pr ₂ O ₃	0,24	0,09	0,22	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd ₂ O ₃	0,82	0,75	0,49	0,39	0,15	0,16	0,17	0,41	0,25	0,17
Sm ₂ O ₃	0,10	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,19	0,00
Eu ₂ O ₃	0,01	0,14	0,00	0,09	0,11	0,00	0,01	0,07	0,06	0,08
Gd ₂ O ₃	0,00	0,12	0,04	0,00	0,10	0,11	0,23	0,00	0,00	0,07
Tb ₂ O ₃	0,09	2,02	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,79
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,20	0,09	0,00	0,00	0,00	0,30	0,36
Ho ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,05	0,09	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
Er ₂ O ₃	0,00	0,01	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
Tm ₂ O ₃	0,13	0,00	0,09	0,25	0,15	0,46	0,53	0,08	0,22	0,08
Yb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,05	0,02	0,00	0,00	0,02	0,09	0,10
Lu ₂ O ₃	0,05	0,27	0,15	0,19	0,00	0,13	0,12	0,18	0,00	0,11
V ₂ O ₃	0,09	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,07	0,04
Y ₂ O ₃	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,04	0,03	0,03	0,36	0,34	0,30	0,30	0,00	0,03	0,00
FeO	2,19	1,66	1,94	2,19	1,57	2,38	2,73	2,03	2,44	1,55
MnO	0,18	0,20	0,15	0,51	0,40	0,36	0,30	0,49	0,69	0,56
MgO	0,02	0,02	0,01	0,20	0,10	0,11	0,04	0,02	0,03	0,00
PbO	0,11	0,14	0,10	0,26	0,14	0,21	0,20	0,22	0,24	0,22
CaO	13,1	16,1	9,95	4,56	5,36	8,15	8,62	12,2	11,0	15,1
BaO	0,05	0,03	0,21	1,18	1,36	0,76	0,79	0,08	0,06	0,17
SrO	2,79	0,47	4,43	3,22	3,56	3,98	4,22	1,96	2,39	1,86
Na ₂ O	0,13	0,29	0,09	0,03	0,04	0,02	0,06	1,70	0,93	2,69
K ₂ O	0,02	0,02	0,01	0,10	0,11	0,08	0,08	0,05	0,04	0,02
F	1,13	1,45	0,78	0,15	0,22	0,20	0,17	1,66	0,90	2,16

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	<u>B-</u> Pirocloro 1			Pirocloro 1			<u>B-</u>			
Análise	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7
Nb	1,4	1,5	1,4	0,7	0,7	0,6	0,61	1,4	1,4	1,6
Ta	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,41	0,1	0,1	0,0
As	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Ti	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,28	0,3	0,3	0,2
Zr	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,13	0,0	0,0	0,0
Hf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Th	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,1	0,1	0,0
U	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,21	0,0	0,0	0,0
Si	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	0,51	0,0	0,0	0,0
La	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Ce	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Pr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Nd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Sm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Eu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Gd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Tb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Dy	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Ho	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Er	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Tm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,0
Yb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Lu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
V	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Y	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Al	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,0
Fe	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,16	0,1	0,1	0,0
Mn	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,0
Mg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Pb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
Ca	0,8	1,0	0,6	0,3	0,3	0,6	0,66	0,8	0,8	1,0
Ba	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,0	0,0	0,0
Sr	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,17	0,0	0,0	0,0
Na	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,2	0,1	0,3
K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
F	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,03	0,3	0,1	0,4
O	5,5	5,8	5,3	5,1	4,9	5,5	5,56	6,1	6,1	6,1
OH	1,2	0,8	1,5	1,7	1,9	1,3	1,39	0,4	0,6	0,4
A-vac	0,6	0,5	0,7	0,8	0,9	0,5	0,55	0,3	0,4	0,2

% (peso) de óxidos

Amostr	B-									
	Pirocloro 1					Pirocloro 2				
Análise	8	1	2	3	4	5	6	1	2	3
Nb ₂ O ₅	50,1	28,7	28,6	34,9	44,6	37,9	51,3	26,8	27,9	42,6
Ta ₂ O ₅	3,47	17,3	17,7	12,5	9,26	11,8	5,35	17,0	16,7	9,84
As ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
TiO ₂	4,67	6,92	5,75	5,94	5,50	4,68	4,94	7,02	7,41	5,12
ZrO ₂	0,95	5,17	5,39	4,00	3,15	3,85	2,35	4,87	4,48	3,07
HfO ₂	0,02	0,07	0,37	0,08	0,26	0,35	0,16	0,00	0,00	0,07
ThO ₂	5,61	4,63	2,98	6,92	9,53	6,82	6,92	5,14	5,53	10,1
UO ₂	3,97	18,1	19,5	14,1	4,94	11,5	2,36	17,4	17,3	5,61
SiO ₂	0,00	0,18	0,15	0,10	0,04	0,26	0,09	1,22	1,49	0,25
La ₂ O ₃	0,11	0,00	0,22	0,00	0,14	0,04	0,07	0,15	0,24	0,15
Ce ₂ O ₃	0,64	0,86	0,56	0,76	0,91	0,67	1,89	0,72	0,78	0,75
Pr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,11	0,02	0,21	0,09	0,00	0,00	0,00	0,37
Nd ₂ O ₃	0,19	0,21	0,00	0,23	0,58	0,14	0,34	0,39	0,03	0,31
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,14
Eu ₂ O ₃	0,00	0,14	0,06	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,15	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	1,93	0,00	0,00	0,38	0,00	1,50	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,10	0,33	0,00	0,09	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Ho ₂ O ₃	0,00	0,00	0,03	0,13	0,00	0,05	0,06	0,00	0,20	0,15
Er ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,07	0,00	0,00	0,09
Tm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,48	0,52	0,29	0,33	0,00	0,37	0,17	0,34
Yb ₂ O ₃	0,01	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,09	0,00	0,12	0,00	0,15
V ₂ O ₃	0,04	0,08	0,07	0,00	0,08	0,04	0,00	0,00	0,06	0,07
Y ₂ O ₃	0,33	0,00	0,00	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,01	0,00	0,04	0,04	0,02	0,02	0,00	0,02	0,04	0,00
FeO	1,13	2,98	2,93	2,95	3,04	3,15	3,22	2,86	3,45	2,62
MnO	0,16	0,23	0,45	0,33	0,43	0,42	0,46	0,30	0,29	0,43
MgO	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00	0,04	0,02
PbO	0,17	0,20	0,34	0,30	0,21	0,31	0,16	0,25	0,31	0,26
CaO	16,2	6,83	7,56	8,67	11,2	8,81	14,1	7,86	7,97	9,82
BaO	0,06	0,03	0,00	0,05	0,07	0,09	0,18	0,52	0,17	0,35
SrO	0,33	1,08	1,42	0,30	0,80	1,74	1,38	2,01	1,17	2,10
Na ₂ O	4,40	2,81	1,30	2,85	1,12	0,54	1,51	0,21	0,16	1,85
K ₂ O	0,01	0,06	0,04	0,07	0,07	0,03	0,01	0,07	0,04	0,08
F	2,30	0,72	0,68	0,99	1,02	0,49	1,25	0,27	0,37	0,93

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B-									
	Pirocloro 1					Pirocloro 2				
Análise	8	1	2	3	4	5	6	1	2	3
Nb	1,6	1,00	1,03	1,22	1,40	1,30	1,56	0,9	0,9	1,3
Ta	0,0	0,36	0,38	0,26	0,17	0,24	0,09	0,3	0,3	0,1
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Ti	0,2	0,40	0,34	0,34	0,28	0,26	0,25	0,4	0,4	0,2
Zr	0,0	0,19	0,21	0,15	0,10	0,14	0,07	0,1	0,1	0,1
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Th	0,0	0,08	0,05	0,12	0,15	0,11	0,10	0,0	0,0	0,1
U	0,0	0,31	0,34	0,24	0,07	0,19	0,03	0,3	0,2	0,0
Si	0,0	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,0	0,1	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Ce	0,0	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,04	0,0	0,0	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Tb	0,0	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,0	0,0	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Tm	0,0	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Fe	0,0	0,19	0,19	0,19	0,17	0,20	0,18	0,1	0,2	0,1
Mn	0,0	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0	0,0	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Ca	1,2	0,56	0,64	0,71	0,83	0,71	1,01	0,6	0,6	0,7
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Sr	0,0	0,04	0,06	0,01	0,03	0,07	0,05	0,0	0,0	0,0
Na	0,6	0,42	0,20	0,42	0,15	0,08	0,19	0,0	0,0	0,2
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
F	0,5	0,17	0,17	0,24	0,22	0,11	0,26	0,0	0,0	0,2
O	6,7	6,17	6,39	6,44	5,98	6,11	6,17	6,1	5,8	6,1
OH	0,0	0,65	0,43	0,31	0,79	0,76	0,55	0,8	1,0	0,6
A-vac	0,0	0,29	0,35	0,19	0,47	0,51	0,31	0,5	0,6	0,3

% (peso) de óxidos

Amostr							B- Pirocloro 1		B- Pirocloro 1	
Análise	4	5	6	7	8	1	2	1	2	3
Nb ₂ O ₅	46,7	48,3	51,7	56,5	56,8	31,5	32,5	23,1	22,3	22,5
Ta ₂ O ₅	8,01	4,40	4,66	3,35	3,45	15,0	14,9	18,6	18,3	17,7
As ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	5,17	4,67	5,06	3,63	3,43	4,36	5,22	4,86	4,60	5,00
ZrO ₂	2,77	1,95	1,97	1,88	2,51	6,96	5,35	1,07	1,09	0,87
HfO ₂	0,12	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,14	0,00
ThO ₂	9,54	6,42	6,35	5,88	6,05	4,98	5,84	1,20	0,98	1,09
UO ₂	3,44	4,06	3,96	0,58	0,50	17,0	15,9	15,1	15,5	16,2
SiO ₂	0,05	0,48	0,32	0,00	0,00	0,04	0,06	9,38	9,29	9,24
La ₂ O ₃	0,17	0,18	0,04	0,02	0,14	0,00	0,00	0,11	0,12	0,08
Ce ₂ O ₃	1,46	1,11	1,14	1,32	1,18	0,44	0,55	0,63	0,42	0,57
Pr ₂ O ₃	0,00	0,09	0,00	0,08	0,03	0,32	0,00	0,00	0,01	0,00
Nd ₂ O ₃	0,34	0,30	0,69	0,41	0,17	0,00	0,08	0,00	0,26	0,13
Sm ₂ O ₃	0,05	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,14	0,03
Eu ₂ O ₃	0,00	0,03	0,00	0,00	0,16	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00
Gd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,22	0,00	0,00	0,23	0,05
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	2,36	2,04	0,00	0,67	0,57	0,74	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,15	0,40	0,06	0,09	0,00
Ho ₂ O ₃	0,03	0,08	0,00	0,12	0,03	0,11	0,12	0,16	0,00	0,03
Er ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,14	0,08	0,00	0,01	0,06	0,00	0,10
Tm ₂ O ₃	0,14	0,00	0,05	0,12	0,18	0,30	0,38	0,50	0,32	0,50
Yb ₂ O ₃	0,12	0,00	0,22	0,02	0,01	0,05	0,00	0,00	0,01	0,08
Lu ₂ O ₃	0,18	0,08	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,03	0,14	0,07
V ₂ O ₃	0,08	0,08	0,02	0,07	0,00	0,04	0,00	0,09	0,05	0,08
Y ₂ O ₃	0,00	0,14	0,00	0,23	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,50	0,56	0,54
FeO	3,00	2,32	1,89	0,70	0,65	2,03	2,23	2,40	2,38	2,47
MnO	0,58	0,20	0,24	0,04	0,01	1,04	1,08	0,05	0,00	0,05
MgO	0,01	0,62	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03	0,08	0,10	0,09
PbO	0,21	0,22	0,23	0,20	0,15	0,31	0,33	0,56	0,59	0,62
CaO	11,2	13,2	12,3	16,2	15,6	6,42	6,71	6,12	6,29	6,48
BaO	0,06	0,19	0,34	0,00	0,01	0,24	0,30	4,55	4,71	4,71
SrO	1,02	0,75	2,17	0,01	0,10	3,46	3,32	3,27	3,49	3,31
Na ₂ O	1,19	1,53	1,99	5,83	4,22	0,55	0,44	0,03	0,05	0,08
K ₂ O	0,05	0,05	0,04	0,01	0,00	0,08	0,04	0,06	0,05	0,04
F	0,78	1,41	1,30	3,13	2,18	0,04	0,13	0,21	0,06	0,05

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr						B-32		B-		
Análise	4	5	6	7	8	Pirocloro 1		Pirocloro 1		
						1	2	1	2	3
Nb	1,4	1,50	1,56	1,69	1,68	1,13	1,1	0,6	0,68	0,6
Ta	0,1	0,08	0,08	0,06	0,06	0,32	0,3	0,3	0,33	0,3
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ti	0,2	0,24	0,25	0,18	0,16	0,26	0,3	0,2	0,23	0,2
Zr	0,0	0,06	0,06	0,06	0,08	0,27	0,2	0,0	0,03	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Th	0,1	0,10	0,09	0,08	0,09	0,09	0,1	0,0	0,01	0,0
U	0,0	0,06	0,05	0,00	0,00	0,30	0,2	0,2	0,23	0,2
Si	0,0	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,0	0,6	0,64	0,6
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ce	0,0	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,0	0,0	0,01	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,0	0,0	0,01	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,04	0,0
Fe	0,1	0,13	0,10	0,03	0,03	0,13	0,1	0,1	0,13	0,1
Mn	0,0	0,01	0,01	0,00	0,00	0,07	0,0	0,0	0,00	0,0
Mg	0,0	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,01	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,01	0,0
Ca	0,8	0,97	0,88	1,15	1,09	0,54	0,5	0,4	0,45	0,4
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,1	0,12	0,1
Sr	0,0	0,03	0,08	0,00	0,00	0,16	0,1	0,1	0,13	0,1
Na	0,1	0,20	0,25	0,74	0,53	0,08	0,0	0,0	0,00	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0
F	0,1	0,30	0,27	0,65	0,45	0,01	0,0	0,0	0,01	0,0
O	5,9	5,81	5,89	6,63	6,26	6,08	6,1	4,7	4,87	4,8
OH	0,8	0,88	0,83	0,00	0,28	0,90	0,8	2,1	2,11	2,0
A-vac	0,4	0,40	0,42	0,00	0,12	0,54	0,5	0,8	0,81	0,8

% (peso) de óxidos

Amostr	B-			B-			B-		
	Pirocloro 1			Pirocloro 1			Pirocloro 2		
Análise	1	2	3	1	2	3	4	1	2
Nb ₂ O ₅	64,5	57,7	55,2	66,7	62,1	65,7	64,4	66,6	66,467
Ta ₂ O ₅	0,91	1,23	3,09	0,37	0,12	0,15	0,38	0,43	0,000
As ₂ O ₅	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,006
TiO ₂	2,62	4,82	3,53	2,14	4,29	2,74	3,43	2,36	2,182
ZrO ₂	1,45	2,83	2,42	0,00	1,08	0,01	0,86	0,00	0,469
HfO ₂	0,10	0,00	0,02	0,00	0,13	0,18	0,00	0,00	0,000
ThO ₂	0,68	2,46	3,75	0,17	0,49	0,05	0,84	0,17	0,249
UO ₂	0,66	1,09	0,76	0,00	0,00	0,04	0,12	0,03	0,000
SiO ₂	0,10	0,02	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,000
La ₂ O ₃	0,23	0,42	0,19	0,12	0,13	0,22	0,17	0,12	0,102
Ce ₂ O ₃	1,09	2,27	1,25	0,41	0,32	0,79	1,43	0,43	0,530
Pr ₂ O ₃	0,04	0,00	0,19	0,11	0,00	0,00	0,28	0,22	0,275
Nd ₂ O ₃	0,25	0,42	0,30	0,00	0,00	0,12	0,38	0,00	0,296
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,07	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00	0,000
Eu ₂ O ₃	0,00	0,16	0,12	0,01	0,19	0,00	0,00	0,00	0,000
Gd ₂ O ₃	0,00	0,18	0,21	0,00	0,11	0,10	0,00	0,00	0,335
Tb ₂ O ₃	1,01	0,84	0,00	0,00	0,29	0,98	1,06	0,00	0,000
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,16	0,23	0,36	0,05	0,15	0,00	0,000
Ho ₂ O ₃	0,07	0,00	0,00	0,11	0,09	0,03	0,04	0,00	0,000
Er ₂ O ₃	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	0,037
Tm ₂ O ₃	0,15	0,00	0,02	0,24	0,00	0,03	0,00	0,00	0,000
Yb ₂ O ₃	0,08	0,00	0,11	0,00	0,21	0,05	0,00	0,02	0,252
Lu ₂ O ₃	0,00	0,32	0,36	0,38	0,00	0,00	0,00	0,05	0,360
V ₂ O ₃	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,000
Y ₂ O ₃	0,29	0,20	0,26	0,33	0,32	0,24	0,30	0,23	0,326
Al ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,051
FeO	0,22	0,62	0,26	0,50	0,27	0,29	0,20	0,35	0,394
MnO	0,08	0,08	0,00	0,07	0,02	0,09	0,00	0,06	0,070
MgO	0,06	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,000
PbO	0,09	0,13	0,19	0,02	0,09	0,07	0,17	0,19	0,033
CaO	16,8	15,1	16,3	17,7	18,7	17,5	17,4	17,5	17,502
BaO	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,000
SrO	0,43	0,69	0,14	0,22	0,29	0,30	0,27	0,30	0,253
Na ₂ O	7,17	4,06	6,43	7,51	6,80	7,55	7,11	7,59	7,385
K ₂ O	0,00	0,05	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,022
F	3,70	2,60	2,78	3,70	3,72	3,91	3,98	4,04	3,453

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostr	B-			B-				B-	
	Pirocloro 1			Pirocloro 1				Pirocloro 2	
Análise	1	2	3	1	2	3	4	1	2
Nb	1,8	1,6	1,68	1,8	1,75	1,86	1,80	1,8	1,8
Ta	0,0	0,0	0,05	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
As	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Ti	0,1	0,2	0,17	0,1	0,20	0,12	0,16	0,1	0,1
Zr	0,0	0,0	0,08	0,0	0,03	0,00	0,02	0,0	0,0
Hf	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Th	0,0	0,0	0,05	0,0	0,00	0,00	0,01	0,0	0,0
U	0,0	0,0	0,01	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Si	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
La	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Ce	0,0	0,0	0,03	0,0	0,00	0,01	0,03	0,0	0,0
Pr	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Nd	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sm	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Eu	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Gd	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Tb	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,02	0,02	0,0	0,0
Dy	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Ho	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Er	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Tm	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Yb	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Lu	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
V	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Y	0,0	0,0	0,01	0,0	0,01	0,00	0,01	0,0	0,0
Al	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Fe	0,0	0,0	0,01	0,0	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0
Mn	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Mg	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Pb	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Ca	1,1	1,0	1,18	1,1	1,25	1,18	1,16	1,1	1,1
Ba	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sr	0,0	0,0	0,00	0,0	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0
Na	0,8	0,4	0,83	0,9	0,82	0,91	0,85	0,9	0,8
K	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
F	0,7	0,5	0,59	0,7	0,73	0,77	0,78	0,7	0,6
O	6,2	5,9	6,50	6,4	6,32	6,40	6,35	6,3	6,3
OH	0,0	0,5	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
A-vac	0,0	0,2	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0

Anexo II

Tabela referente às análises pontuais de pirocloros representativos das amostras de superfície do CCB

% (peso) de óxidos										
Amostra:		BLP-5								
Análise:	Pirocloro 1							Pirocloro2		
	1	2	3	4	5	6	9	1	2	3
Nb₂O₅	53,0	66,3	42,3	69,2	69,9	65,7	66,5	66,2	65,5	66,7
Ta₂O₅	0,00	0,31	0,09	0,00	0,01	0,31	0,13	0,00	0,00	0,00
As₂O₅	0,07	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,10
TiO₂	2,33	2,59	2,00	2,74	2,67	2,34	3,25	3,53	3,57	3,84
ZrO₂	0,00	0,01	0,00	0,28	0,35	0,10	0,58	1,18	1,18	1,00
HfO₂	0,00	0,00	0,04	0,00	0,13	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
ThO₂	0,00	0,00	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,06
UO₂	0,00	0,04	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO₂	0,00	0,04	0,01	0,22	0,15	0,22	0,79	1,10	1,50	0,80
La₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Ce₂O₃	0,38	0,49	0,24	0,11	0,23	0,00	0,49	0,21	0,54	0,00
Pr₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd₂O₃	0,00	0,05	0,00	0,27	0,00	0,05	0,00	0,11	0,28	0,00
Sm₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Eu₂O₃	0,05	0,09	0,05	0,05	0,06	0,00	0,08	0,00	0,04	0,00
Gd₂O₃	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,25	0,00	0,00	0,00
Tb₂O₃	0,00	0,72	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy₂O₃	0,00	0,00	0,22	0,19	0,00	0,00	0,40	0,00	0,07	0,00
Ho₂O₃	0,26	0,04	0,00	0,03	0,10	0,19	0,04	0,00	0,18	0,33
Er₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,01	0,10	0,00	0,00
Tm₂O₃	0,13	0,27	0,05	0,20	0,03	0,08	0,00	0,04	0,00	0,12
Yb₂O₃	0,09	0,00	0,05	0,00	0,00	0,30	0,00	0,20	0,26	0,05
Lu₂O₃	0,02	0,08	0,02	0,07	0,00	0,09	0,00	0,11	0,13	0,24
V₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y₂O₃	0,07	0,10	0,03	0,05	0,18	0,02	0,00	0,23	0,15	0,27
Al₂O₃	0,00	0,02	0,05	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
FeO	0,04	0,11	0,06	0,05	0,07	0,02	0,20	0,16	0,34	0,32
MnO	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
PbO	0,74	1,06	0,52	1,11	1,03	1,00	1,98	0,31	0,28	0,19
CaO	0,08	0,04	0,11	0,02	0,04	0,05	0,10	0,10	0,15	0,14
BaO	28,0	19,3	39,2	16,2	17,0	19,3	15,4	18,5	17,7	18,0
SrO	1,11	1,29	0,75	1,32	1,34	1,52	1,30	0,50	0,59	0,62
Na₂O	0,04	0,05	0,08	0,04	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00
K₂O	0,15	0,24	0,18	0,38	0,37	0,29	0,39	0,15	0,15	0,08
F	0,03	0,06	0,05	0,11	0,03	0,09	0,05	0,04	0,06	0,02

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:	BLP									
	Pirocloro 1							Pirocloro2		
Análise:	1	2	3	4	5	6	9	1	2	3
Nb	1,8	1,86	1,84	1,85	1,86	1,86	1,78	1,74	1,72	1,7
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,12	0,14	0,12	0,11	0,11	0,14	0,15	0,15	0,1
Zr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,03	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,06	0,08	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,0
Ca	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Ba	0,8	0,47	1,48	0,37	0,39	0,47	0,35	0,42	0,40	0,4
Sr	0,0	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,01	0,02	0,0
Na	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
K	0,0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,0
F	0,0	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,0
O	4,8	4,11	6,06	3,94	3,88	4,05	3,79	3,75	3,75	3,7
OH	2,1	2,87	0,91	3,03	3,10	2,93	3,19	3,24	3,23	3,2
A-vac	1,0	1,38	0,38	1,46	1,48	1,40	1,49	1,50	1,49	1,5

% (peso) de óxidos										
Amostra:					BLP-6					
Análise:	4	5	6	7	Piroclor		3	4	5	6
Nb₂O₅	62,0	64,6	62,1	64,7	67,7	66,7	69,0	69,2	68,8	66,4
Ta₂O₅	0,00	0,17	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03
As₂O₅	0,01	0,00	0,00	0,02	0,07	0,07	0,05	0,00	0,03	0,00
TiO₂	2,96	3,88	3,63	3,41	3,34	3,28	2,86	2,99	2,76	3,07
ZrO₂	1,68	1,19	1,17	0,60	0,12	0,20	0,00	0,00	0,00	0,08
HfO₂	0,08	0,16	0,00	0,00	0,03	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
ThO₂	0,04	0,02	0,00	0,05	0,00	0,06	0,01	0,00	0,07	0,00
UO₂	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO₂	1,82	1,36	1,59	0,59	0,08	0,25	0,00	0,32	0,04	0,38
La₂O₃	0,06	0,02	0,06	0,00	0,13	0,02	0,00	0,00	0,03	0,05
Ce₂O₃	0,47	0,00	0,11	0,00	0,05	0,62	0,37	0,00	0,32	0,16
Pr₂O₃	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,23	0,01	0,20	0,00	0,23
Sm₂O₃	0,05	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eu₂O₃	0,09	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,13	0,06	0,01	0,05
Gd₂O₃	0,04	0,06	0,07	0,07	0,05	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Tb₂O₃	1,98	0,00	0,39	0,20	2,17	0,00	0,75	0,53	0,83	0,00
Dy₂O₃	0,00	0,65	0,36	0,00	0,07	0,46	0,45	0,00	0,00	0,00
Ho₂O₃	0,20	0,00	0,13	0,00	0,28	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00
Er₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	0,13	0,08	0,05
Tm₂O₃	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Yb₂O₃	0,16	0,27	0,12	0,05	0,12	0,01	0,00	0,24	0,00	0,04
Lu₂O₃	0,01	0,18	0,10	0,00	0,10	0,16	0,15	0,00	0,10	0,00
V₂O₃	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y₂O₃	0,13	0,05	0,09	0,06	0,35	0,32	0,33	0,30	0,35	0,27
Al₂O₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,02
FeO	0,41	0,41	0,38	0,26	0,12	0,04	0,03	0,15	0,05	0,14
MnO	0,04	0,00	0,06	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
MgO	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,02	0,00	0,05	0,03	0,03
PbO	0,25	0,23	0,06	0,16	1,37	1,43	0,80	0,82	0,95	1,05
CaO	16,8	0,17	17,3	17,0	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02
BaO	0,00	17,6	0,13	0,15	18,7	18,3	19,4	19,5	19,2	19,0
SrO	0,78	1,22	0,69	0,79	0,19	0,02	0,15	0,21	0,16	0,11
Na₂O	7,55	0,06	7,67	7,58	0,03	0,06	0,03	0,08	0,01	0,03
K₂O	0,09	0,12	0,08	0,04	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00
F	4,61	0,31	4,26	4,72	0,18	0,00	0,00	0,14	0,00	0,03

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:					BLP-6					
					Piroclor					
Análise:	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
Nb	1,6	1,70	1,69	1,78	1,83	1,82	1,86	1,84	1,86	1,8
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,12	0,13	0,12	0,1
Zr	0,0	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,1	0,08	0,09	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,0
Dy	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,0
Ca	1,0	0,01	1,12	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ba	0,0	0,40	0,00	0,00	0,44	0,43	0,45	0,45	0,45	0,4
Sr	0,0	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Na	0,8	0,00	0,90	0,89	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,0
K	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,8	0,05	0,81	0,91	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,0
O	6,1	3,76	6,04	6,06	4,02	3,90	3,99	3,90	3,95	3,8
OH	0,0	3,18	0,14	0,02	2,94	3,09	3,00	3,06	3,04	3,1
A-vac	0,0	1,47	0,00	0,00	1,43	1,48	1,46	1,47	1,47	1,4

% (peso) de óxidos

Amostra:										
Análise:	Pirocloro 2					Pirocloro 3				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nb₂O₅	70,3	69,2	68,5	69,0	67,8	68,5	67,0	70,2	67,8	68,2
Ta₂O₅	0,24	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,25
As₂O₅	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,01
TiO₂	1,98	2,46	2,26	2,27	2,73	3,78	3,93	3,91	3,78	3,98
ZrO₂	0,17	0,07	0,00	0,00	0,00	0,33	0,56	0,00	0,46	0,34
HfO₂	0,11	0,00	0,04	0,02	0,04	0,00	0,05	0,23	0,03	0,07
ThO₂	0,00	0,06	0,01	0,01	0,00	0,06	0,06	0,00	0,17	0,02
UO₂	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,03
SiO₂	0,05	0,04	0,07	0,40	0,02	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00
La₂O₃	0,00	0,03	0,00	0,03	0,04	0,11	0,14	0,00	0,00	0,00
Ce₂O₃	0,22	0,57	0,15	0,00	0,50	0,48	0,19	0,10	0,50	0,69
Pr₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd₂O₃	0,01	0,20	0,34	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00
Sm₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Eu₂O₃	0,09	0,06	0,03	0,00	0,05	0,06	0,00	0,00	0,00	0,04
Gd₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,18	0,00	0,12	0,03
Tb₂O₃	0,00	0,37	0,17	0,61	0,62	0,00	0,00	1,31	0,00	0,00
Dy₂O₃	0,00	0,25	0,27	0,00	0,00	0,77	0,00	0,22	0,00	0,15
Ho₂O₃	0,16	0,02	0,15	0,06	0,14	0,08	0,18	0,08	0,15	0,00
Er₂O₃	0,06	0,12	0,00	0,00	0,01	0,00	0,12	0,02	0,01	0,00
Tm₂O₃	0,00	0,00	0,09	0,01	0,14	0,00	0,17	0,06	0,10	0,02
Yb₂O₃	0,00	0,11	0,14	0,09	0,08	0,20	0,05	0,00	0,04	0,00
Lu₂O₃	0,00	0,00	0,22	0,46	0,12	0,29	0,32	0,10	0,16	0,19
V₂O₃	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y₂O₃	0,32	0,29	0,35	0,31	0,33	0,29	0,33	0,38	0,27	0,22
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	0,02	0,03	0,06	0,13	0,01	0,04	0,02	0,01	0,11	0,07
MnO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
PbO	0,79	0,99	0,96	0,64	0,92	0,84	0,69	0,53	0,51	0,66
CaO	0,00	0,00	0,05	0,04	0,01	0,03	0,01	0,00	0,02	0,02
BaO	20,3	19,3	19,5	18,9	19,4	18,8	19,0	19,0	18,8	18,9
SrO	0,20	0,19	0,06	0,01	0,13	0,33	0,09	0,20	0,07	0,13
Na₂O	0,02	0,05	0,07	0,08	0,06	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
K₂O	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03
F	0,00	0,09	0,00	0,21	0,00	0,11	0,13	0,00	0,00	0,13

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:										
Análise:	Pirocloro 2					Pirocloro 3				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nb	1,8	1,88	1,89	1,86	1,87	1,82	1,80	1,82	1,79	1,8
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,0	0,11	0,10	0,10	0,12	0,16	0,17	0,16	0,16	0,1
Zr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,0	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,0
Ca	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ba	0,4	0,45	0,46	0,44	0,46	0,43	0,44	0,42	0,43	0,4
Sr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0
Na	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,0	0,01	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,0
O	3,9	3,99	4,02	3,91	3,99	3,90	3,85	3,86	3,82	3,8
OH	3,0	2,98	2,97	3,04	3,00	3,07	3,12	3,13	3,18	3,1
A-vac	1,4	1,46	1,45	1,48	1,45	1,48	1,49	1,50	1,50	1,5

<u>% (peso) de óxidos</u>										
Amostra:			BLP-29							
Análise:	Pirocloro 1						Pirocloro 2			
	6	7	1	2	3	4	5	6	1	2
Nb₂O₅	67,7	69,6	62,1	61,6	59,8	60,1	57,3	62,4	62,2	62,0
Ta₂O₅	0,18	0,19	0,45	0,02	0,23	0,10	0,16	0,00	0,00	0,00
As₂O₅	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,04
TiO₂	3,91	3,69	1,93	1,83	1,99	2,06	2,23	2,33	2,02	2,15
ZrO₂	0,17	0,04	1,53	1,70	1,65	1,71	1,53	1,78	1,72	1,63
HfO₂	0,22	0,00	0,06	0,00	0,08	0,25	0,07	0,14	0,25	0,25
ThO₂	0,06	0,08	2,23	2,30	2,12	2,07	2,17	2,09	2,08	2,12
UO₂	0,00	0,05	0,04	0,10	0,07	0,03	0,07	0,13	0,08	0,00
SiO₂	0,00	0,00	0,71	0,60	0,80	0,73	1,07	0,57	0,57	0,54
La₂O₃	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,07
Ce₂O₃	0,78	0,14	1,65	1,48	1,69	2,19	1,46	1,54	0,94	1,02
Pr₂O₃	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Nd₂O₃	0,12	0,00	0,59	0,00	0,34	0,04	0,02	0,09	0,00	0,13
Sm₂O₃	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,08	0,00
Eu₂O₃	0,07	0,04	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,01	0,00	0,07
Gd₂O₃	0,00	0,18	0,10	0,11	0,13	0,15	0,13	0,08	0,00	0,14
Tb₂O₃	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01
Dy₂O₃	0,00	0,00	0,20	0,14	0,43	0,08	0,10	0,19	0,16	0,00
Ho₂O₃	0,10	0,20	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,10	0,01	0,00
Er₂O₃	0,00	0,02	0,06	0,04	0,01	0,00	0,16	0,13	0,00	0,00
Tm₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,06	0,29	0,00	0,02	0,00	0,17	0,00
Yb₂O₃	0,00	0,12	0,36	0,00	0,00	0,02	0,11	0,04	0,00	0,00
Lu₂O₃	0,24	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,19	0,07	0,19
V₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Y₂O₃	0,24	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
FeO	0,04	0,09	0,88	0,87	0,85	0,93	1,01	0,93	0,94	0,77
MnO	0,00	0,00	0,46	0,44	0,43	0,59	0,41	0,29	0,36	0,32
MgO	0,00	0,00	0,03	0,05	0,03	0,04	0,06	0,08	0,02	0,05
PbO	0,86	0,58	1,79	1,75	2,12	2,13	2,42	1,80	1,13	1,05
CaO	0,00	0,02	5,09	6,78	4,99	4,96	5,63	10,4	4,98	4,40
BaO	19,1	19,0	9,35	7,09	9,07	8,91	8,78	5,97	10,1	9,29
SrO	0,11	0,29	7,39	6,73	7,39	7,54	6,86	5,44	7,49	7,91
Na₂O	0,06	0,00	0,10	0,02	0,08	0,05	0,07	0,12	0,03	0,05
K₂O	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
F	0,09	0,08	0,28	0,49	0,11	0,27	0,30	0,89	0,47	0,34

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:		BLP-29								
Análise:	Pirocloro 1						Pirocloro 2			
	6	7	1	2	3	4	5	6	1	2
Nb	1,8	1,83	1,79	1,80	1,78	1,78	1,75	1,78	1,80	1,7
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,16	0,09	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,09	0,1
Zr	0,0	0,00	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,0	0,00	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,03	0,03	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,00	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,02	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,00	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,0
Mn	0,0	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,0
Ca	0,0	0,00	0,34	0,47	0,35	0,34	0,40	0,70	0,34	0,3
Ba	0,4	0,43	0,23	0,18	0,23	0,22	0,23	0,14	0,25	0,2
Sr	0,0	0,01	0,27	0,25	0,28	0,28	0,26	0,20	0,27	0,2
Na	0,0	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,0	0,01	0,05	0,10	0,02	0,05	0,06	0,17	0,09	0,0
O	3,8	3,87	5,07	5,08	5,11	5,07	5,11	5,38	4,96	4,8
OH	3,1	3,11	1,49	0,87	1,03	1,09	0,49	1,23	1,28	1,1
A-vac	1,4	1,50	0,92	0,90	0,90	0,91	0,86	0,74	0,96	1,0

% (peso) de óxidos										
Amostra:						BLP-29				
						Pirocloro 4				
Análise:	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5
Nb₂O₅	60,0	60,2	57,9	58,4	61,8	61,0	59,5	58,9	60,7	61,5
Ta₂O₅	0,08	0,16	0,29	0,24	0,23	0,35	0,11	0,51	0,01	0,00
As₂O₅	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01
TiO₂	2,11	2,08	2,16	2,18	1,93	2,00	2,09	2,18	2,00	2,00
ZrO₂	1,44	1,48	1,49	1,47	1,55	1,67	1,77	1,93	2,01	1,58
HfO₂	0,00	0,00	0,17	0,00	0,03	0,18	0,00	0,41	0,21	0,03
ThO₂	2,12	2,03	2,03	1,82	1,85	1,93	2,07	2,16	2,14	2,07
UO₂	0,04	0,05	0,11	0,04	0,08	0,03	0,13	0,05	0,05	0,13
SiO₂	0,78	0,78	1,06	1,66	0,36	0,98	0,78	0,82	0,60	0,56
La₂O₃	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce₂O₃	1,01	1,07	1,23	1,81	1,67	2,10	1,50	1,63	0,74	1,38
Pr₂O₃	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd₂O₃	0,25	0,15	0,14	0,00	0,32	0,19	0,01	0,20	0,09	0,15
Sm₂O₃	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Eu₂O₃	0,01	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd₂O₃	0,35	0,00	0,14	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,18	0,00
Tb₂O₃	0,56	0,00	0,00	1,87	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	2,35
Dy₂O₃	0,48	0,09	0,23	0,00	0,00	0,27	0,05	0,18	0,00	0,21
Ho₂O₃	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,14	0,01	0,21	0,00	0,00
Er₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,06
Tm₂O₃	0,00	0,00	0,16	0,00	0,07	0,00	0,07	0,13	0,00	0,31
Yb₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,17	0,00	0,00	0,00	0,04
Lu₂O₃	0,13	0,00	0,00	0,23	0,29	0,04	0,15	0,02	0,00	0,17
V₂O₃	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al₂O₃	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
FeO	0,86	0,88	0,92	0,84	0,74	1,07	1,05	1,02	0,82	0,84
MnO	0,40	0,41	0,38	0,29	0,32	0,29	0,44	0,39	0,44	0,38
MgO	0,04	0,05	0,06	0,07	0,04	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04
PbO	1,18	1,15	1,24	1,37	1,12	1,77	1,56	1,58	1,45	1,64
CaO	5,20	5,39	5,76	5,76	4,38	5,63	5,10	5,12	4,80	4,51
BaO	10,0	10,3	10,7	10,1	8,82	9,09	8,54	8,06	7,77	8,02
SrO	7,15	6,86	6,36	6,25	8,30	6,52	7,21	7,67	7,98	8,12
Na₂O	0,07	0,04	0,03	0,00	0,08	0,05	0,01	0,03	0,13	0,02
K₂O	0,01	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03
F	0,44	0,40	0,30	0,02	0,47	0,20	0,26	0,19	0,43	0,14

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:						BLP-				
						Pirocloro 4				
Análise:	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5
Nb	1,7	1,78	1,75	1,72	1,82	1,77	1,77	1,75	1,78	1,8
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,0
Zr	0,0	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,0	0,05	0,07	0,11	0,02	0,06	0,05	0,05	0,04	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,0
Mn	0,0	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,0
Ca	0,3	0,38	0,41	0,40	0,30	0,38	0,36	0,36	0,33	0,3
Ba	0,2	0,26	0,28	0,25	0,22	0,22	0,22	0,20	0,19	0,2
Sr	0,2	0,26	0,24	0,23	0,31	0,24	0,27	0,29	0,30	0,3
Na	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,0	0,08	0,06	0,00	0,09	0,04	0,05	0,04	0,08	0,0
O	5,1	5,02	5,10	5,05	4,97	5,04	4,97	4,99	4,86	5,0
OH	1,0	0,84	0,59	0,96	0,04	1,32	0,68	0,80	0,80	1,2
A-vac	0,8	0,92	0,87	0,89	0,97	0,92	0,95	0,93	0,99	0,9

% (peso) de óxidos

Análi	Pirocloro 5									
	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8
Nb₂O₅	59,3	63,1	58,6	68,1	57,6	58,8	59,2	59,4	58,0	55,1
Ta₂O₅	0,26	0,00	0,00	0,14	0,40	0,33	0,46	0,00	0,33	0,09
As₂O₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO₂	2,17	2,17	2,03	2,08	1,78	2,05	2,04	1,94	2,01	1,92
ZrO₂	1,43	1,56	1,78	1,66	1,71	1,78	1,68	1,52	1,58	1,55
HfO₂	0,06	0,00	0,31	0,00	0,00	0,46	0,00	0,40	0,00	0,00
ThO₂	2,33	2,23	2,11	2,36	2,12	2,20	2,18	2,05	2,05	1,98
UO₂	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	0,10	0,00	0,12	0,06	0,09
SiO₂	0,95	0,14	0,67	0,00	0,86	0,50	0,42	0,64	0,82	2,14
La₂O₃	0,06	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,05
Ce₂O₃	1,98	1,11	1,91	0,63	2,02	1,42	0,92	1,91	1,03	2,19
Pr₂O₃	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
Nd₂O₃	0,20	0,09	0,42	0,17	0,35	0,04	0,15	0,04	0,07	0,11
Sm₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,06
Eu₂O₃	0,00	0,00	0,02	0,11	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,03
Gd₂O	0,00	0,10	0,32	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,04	0,00
Tb₂O₃	0,22	0,00	1,68	0,34	0,00	0,00	3,17	0,00	0,00	0,00
Dy₂O₃	0,00	0,00	0,39	0,14	0,00	0,00	0,00	0,10	0,53	0,01
Ho₂O₃	0,00	0,18	0,00	0,00	0,12	0,13	0,06	0,00	0,00	0,14
Er₂O₃	0,00	0,00	0,04	0,11	0,00	0,00	0,00	0,04	0,12	0,02
Tm₂O	0,00	0,13	0,28	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,09	0,00
Yb₂O₃	0,00	0,14	0,09	0,00	0,00	0,00	0,17	0,15	0,00	0,06
Lu₂O₃	0,28	0,19	0,00	0,09	0,20	0,18	0,32	0,05	0,00	0,05
V₂O₃	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Y₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al₂O₃	0,01	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
FeO	0,97	0,91	0,89	0,35	0,93	0,83	0,84	0,81	0,87	0,96
MnO	0,42	0,16	0,51	0,14	0,47	0,44	0,42	0,46	0,38	0,38
MgO	0,05	0,05	0,04	0,02	0,08	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05
PbO	2,74	2,57	3,01	0,56	3,13	2,65	2,32	2,41	2,57	2,67
CaO	6,20	4,51	4,57	16,6	4,86	4,14	4,24	4,71	5,16	5,72
BaO	6,66	5,81	8,25	0,09	8,73	8,17	8,12	8,70	9,90	9,92
SrO	7,25	9,08	7,74	1,30	7,44	8,25	8,46	7,71	6,83	6,63
Na₂O	0,09	0,05	0,04	0,11	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,06
K₂O	0,01	0,02	0,01	0,06	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
F	0,09	0,51	0,23	1,28	0,32	0,24	0,59	0,24	0,29	0,15

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Análi	Pirocloro 5									
	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8
Nb	1,7	1,83	1,78	1,85	1,77	1,78	1,80	1,79	1,77	1,6
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,10	0,0
Zr	0,0	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,0	0,00	0,04	0,00	0,06	0,03	0,02	0,04	0,05	0,1
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,02	0,04	0,01	0,05	0,03	0,02	0,04	0,02	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,04	0,05	0,01	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,0
Mn	0,0	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,04	0,05	0,00	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,0
Ca	0,4	0,31	0,32	1,07	0,35	0,29	0,30	0,33	0,37	0,4
Ba	0,1	0,14	0,21	0,00	0,23	0,21	0,21	0,22	0,26	0,2
Sr	0,2	0,33	0,30	0,04	0,29	0,32	0,33	0,29	0,26	0,2
Na	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,0	0,10	0,05	0,24	0,06	0,05	0,12	0,05	0,06	0,0
O	5,1	4,88	5,24	5,43	5,13	4,97	5,20	5,04	5,09	5,1
OH	0,7	1,21	1,10	0,93	0,69	0,76	1,09	0,77	0,65	0,4
A-vac	0,8	1,01	0,85	0,75	0,88	0,96	0,88	0,93	0,89	0,8

% (peso) de óxidos										
Amostra:		BLP-31								
Análise:	Pirocloro 1					Pirocloro 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nb₂O₅	65,3	65,7	65,0	64,4	66,4	65,4	69,1	66,5	70,8	67,6
Ta₂O₅	0,32	0,18	0,00	0,51	0,16	0,49	0,30	0,00	0,11	0,58
As₂O₅	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
TiO₂	4,82	3,85	4,89	3,84	3,93	4,49	3,79	4,95	3,56	3,26
ZrO₂	1,19	0,55	1,16	2,12	1,81	1,34	0,58	1,18	0,39	0,54
HfO₂	0,11	0,00	0,00	0,11	0,04	0,03	0,05	0,25	0,00	0,00
ThO₂	0,54	0,47	0,50	1,43	0,70	0,51	0,79	0,55	0,56	0,60
UO₂	0,00	0,00	0,07	0,06	0,01	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02
SiO₂	0,00	0,00	0,16	0,00	0,20	0,20	0,00	0,04	0,00	0,00
La₂O₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,06	0,10	0,05	0,06	0,13
Ce₂O₃	0,32	0,26	0,04	0,66	0,00	0,54	0,59	0,46	0,30	0,33
Pr₂O₃	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,04	0,11	0,08	0,00
Nd₂O₃	0,01	0,00	0,00	0,31	0,14	0,10	0,00	0,36	0,09	0,33
Sm₂O₃	0,00	0,04	0,01	0,06	0,06	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Eu₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Gd₂O₃	0,00	0,00	0,18	0,37	0,04	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00
Tb₂O₃	0,00	0,09	0,43	1,17	2,21	0,00	0,00	0,56	0,00	0,65
Dy₂O₃	0,18	0,11	0,40	0,00	0,32	0,10	0,04	0,00	0,13	0,00
Ho₂O₃	0,00	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	0,00	0,16
Er₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tm₂O₃	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,21	0,00	0,00	0,00
Yb₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,15	0,00	0,00	0,00
Lu₂O₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,18	0,01	0,24	0,00
V₂O₃	0,04	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03	0,07	0,05	0,04	0,04
Y₂O₃	0,33	0,32	0,28	0,36	0,36	0,29	0,31	0,33	0,40	0,34
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	0,00	0,08	0,15	0,27	0,26	0,17	0,26	0,20	0,08	0,12
MnO	0,00	0,05	0,07	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,02	0,00	0,02
PbO	0,16	0,11	0,17	0,21	0,18	0,07	0,20	0,15	0,21	0,16
CaO	18,1	17,9	17,8	17,2	16,7	17,5	17,9	17,6	18,1	17,2
BaO	0,06	0,00	0,05	0,03	0,00	0,07	0,03	0,07	0,12	0,00
SrO	0,21	0,26	0,27	0,18	0,14	0,24	0,21	0,26	0,23	0,26
Na₂O	5,96	7,61	7,18	7,25	7,78	7,48	1,08	7,60	0,65	7,69
K₂O	0,04	0,03	0,12	0,02	0,16	0,13	0,04	0,07	0,00	0,05
F	3,29	3,85	3,83	3,83	3,97	3,23	2,42	4,42	2,13	3,96

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:		BLP								
Análise:	Pirocloro 1					Pirocloro 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nb	1,7	1,80	1,73	1,75	1,75	1,73	1,80	1,73	1,83	1,8
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,2	0,17	0,21	0,17	0,17	0,19	0,16	0,21	0,15	0,1
Zr	0,0	0,01	0,03	0,06	0,05	0,03	0,01	0,03	0,01	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,0	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	1,1	1,16	1,13	1,10	1,05	1,10	1,11	1,09	1,11	1,1
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Na	0,6	0,89	0,82	0,84	0,88	0,85	0,12	0,85	0,07	0,8
K	0,0	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,6	0,74	0,71	0,72	0,73	0,60	0,44	0,80	0,38	0,7
O	5,8	6,16	6,01	6,15	6,04	5,99	5,36	5,99	5,29	6,1
OH	1,1	0,83	0,98	0,84	0,95	1,00	1,26	1,00	1,32	0,8
A-vac	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,75	0,0

% (peso) de óxidos

Amostra:										
Análise:	Pirocloro 3				Pirocloro 4					
	6	1	2	3	1	2	3	4	5	1
Nb₂O₅	64,6	70,1	68,8	70,6	63,7	63,2	64,2	62,3	62,3	64,0
Ta₂O₅	0,18	0,04	0,20	0,28	0,28	0,00	0,41	0,61	0,00	0,36
As₂O₅	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00
TiO₂	3,92	3,32	4,28	3,69	4,65	5,04	4,95	4,05	4,08	4,84
ZrO₂	1,93	1,51	3,14	0,50	1,39	1,15	1,19	2,39	2,87	1,26
HfO₂	0,04	0,10	0,17	0,24	0,38	0,00	0,00	0,22	0,26	0,00
ThO₂	1,10	0,54	0,48	1,50	0,43	0,50	0,38	1,29	1,62	0,43
UO₂	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,10	0,00	0,00
SiO₂	0,00	0,03	0,04	0,00	0,16	0,35	0,09	0,00	0,16	0,48
La₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,00	0,01	0,00
Ce₂O₃	0,42	0,14	0,46	0,38	0,54	0,52	0,00	0,54	0,96	0,50
Pr₂O₃	0,00	0,25	0,48	0,00	0,27	0,14	0,07	0,06	0,01	0,22
Nd₂O₃	0,00	0,13	0,07	0,14	0,00	0,15	0,11	0,15	0,13	0,03
Sm₂O₃	0,04	0,00	0,09	0,00	0,00	0,01	0,13	0,00	0,04	0,00
Eu₂O₃	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Gd₂O₃	0,00	0,16	0,07	0,00	0,00	0,00	0,27	0,13	0,09	0,08
Tb₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,50	1,36	0,00	0,55	0,16	0,00	0,92
Dy₂O₃	0,19	0,00	0,42	0,13	0,14	0,00	0,45	0,00	0,00	0,12
Ho₂O₃	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,24	0,00
Er₂O₃	0,02	0,02	0,00	0,15	0,02	0,04	0,00	0,08	0,00	0,01
Tm₂O₃	0,00	0,02	0,00	0,16	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
Yb₂O₃	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,10	0,00
Lu₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,26	0,27	0,00	0,00
V₂O₃	0,02	0,04	0,00	0,02	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,04
Y₂O₃	0,28	0,35	0,41	0,36	0,24	0,23	0,30	0,26	0,00	0,30
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
FeO	0,18	0,04	2,82	0,00	0,13	0,27	0,20	0,25	0,32	0,18
MnO	0,02	0,00	0,14	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
MgO	0,01	0,00	0,10	0,00	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01
PbO	0,17	0,19	0,19	0,14	0,01	0,18	0,29	0,13	0,33	0,18
CaO	17,8	16,9	18,1	17,0	18,1	18,7	18,4	17,5	13,1	17,3
BaO	0,11	0,00	0,05	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00
SrO	0,12	0,17	0,18	0,33	0,21	0,24	0,20	0,34	4,25	0,26
Na₂O	7,23	1,93	0,27	0,16	6,94	6,88	7,30	6,63	1,15	7,29
K₂O	0,02	0,02	0,07	0,01	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,32
F	3,94	2,73	1,76	1,80	3,61	4,15	4,16	3,71	1,87	4,13

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:										
Análise:	Pirocloro 3				Pirocloro 4					
	6	1	2	3	1	2	3	4	5	1
Nb	1,7	1,80	1,72	1,81	1,72	1,71	1,72	1,72	1,70	1,7
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,14	0,17	0,15	0,20	0,22	0,22	0,18	0,18	0,2
Zr	0,0	0,04	0,08	0,01	0,04	0,03	0,03	0,07	0,08	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,0
Pr	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,00	0,13	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	1,1	1,03	1,07	1,04	1,16	1,19	1,17	1,15	0,85	1,0
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,0
Sr	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,14	0,0
Na	0,8	0,21	0,02	0,01	0,80	0,79	0,84	0,78	0,13	0,8
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,7	0,49	0,30	0,32	0,68	0,78	0,78	0,72	0,35	0,7
O	6,1	5,22	5,34	5,15	6,10	6,08	6,14	6,08	5,15	5,9
OH	0,8	1,40	1,65	1,46	0,89	0,91	0,86	0,91	0,92	1,0
A-vac	0,0	0,70	0,69	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,0

% (peso) de óxidos										
Amostra:				BLP32						
				Pirocloro 1						
				Pirocloro 5						
Análise:	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
Nb₂O₅	63,5	64,6	62,6	65,4	44,4	44,3	40,4	41,3	41,5	39,8
Ta₂O₅	0,48	0,00	0,15	0,00	14,4	11,6	13,6	14,1	14,2	16,3
As₂O₅	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
TiO₂	4,92	4,26	3,95	3,86	4,97	7,03	4,91	4,99	4,84	4,58
ZrO₂	1,46	1,23	2,59	1,91	4,43	4,15	8,32	5,02	6,24	5,29
HfO₂	0,23	0,00	0,20	0,03	0,00	0,15	0,00	0,13	0,00	0,06
ThO₂	0,40	0,54	1,54	1,39	3,91	4,11	3,83	3,36	3,78	3,76
UO₂	0,02	0,04	0,02	0,02	4,47	3,34	4,09	5,64	4,18	3,95
SiO₂	0,38	0,00	0,13	0,00	1,37	2,20	1,66	1,45	1,40	2,06
La₂O₃	0,04	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce₂O₃	0,30	0,53	1,08	0,85	1,18	1,38	1,08	0,86	1,25	0,58
Pr₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,08
Nd₂O₃	0,00	0,14	0,15	0,00	0,10	0,09	0,03	0,14	0,00	0,21
Sm₂O₃	0,07	0,00	0,10	0,14	0,06	0,00	0,02	0,06	0,00	0,00
Eu₂O₃	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd₂O₃	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,18	0,29	0,00	0,00	0,00
Tb₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy₂O₃	0,10	0,00	0,00	0,51	0,40	0,38	0,10	0,32	0,12	0,00
Ho₂O₃	0,03	0,02	0,00	0,00	0,09	0,00	0,04	0,00	0,10	0,20
Er₂O₃	0,00	0,18	0,00	0,11	0,00	0,00	0,05	0,00	0,13	0,00
Tm₂O₃	0,18	0,06	0,21	0,00	0,64	0,08	0,20	0,08	0,16	0,40
Yb₂O₃	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,28	0,04
Lu₂O₃	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,16	0,00
V₂O₃	0,04	0,03	0,01	0,08	0,06	0,09	0,00	0,00	0,00	0,06
Y₂O₃	0,28	0,30	0,00	0,28	0,16	0,28	0,20	0,17	0,21	0,16
Al₂O₃	0,00	0,00	0,02	0,02	2,00	0,91	2,06	2,25	2,27	2,44
FeO	0,15	0,12	0,31	0,17	1,71	5,22	2,25	1,71	1,53	1,48
MnO	0,00	0,00	0,08	0,00	0,32	0,27	0,35	0,36	0,50	0,39
MgO	0,00	0,00	0,02	0,03	0,11	0,03	0,06	0,20	0,13	0,08
PbO	0,26	0,14	0,14	0,16	1,71	0,60	1,22	1,11	1,43	1,21
CaO	17,3	17,7	15,2	16,7	1,24	0,74	1,11	1,43	1,52	1,48
BaO	0,02	0,01	0,54	0,06	0,48	0,89	0,60	0,47	0,53	0,52
SrO	0,20	0,21	1,34	0,21	0,38	0,04	0,21	0,19	0,24	0,20
Na₂O	7,57	7,42	6,47	6,68	0,02	0,02	0,08	0,00	0,07	0,01
K₂O	0,25	0,10	0,04	0,05	0,24	0,25	0,44	0,37	0,47	0,21
F	3,54	3,31	2,46	3,39	0,29	0,18	0,01	0,49	0,31	0,46

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:		BLP								
	Pirocloro 5				Pirocloro 1					
Análise:	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
Nb	1,7	1,76	1,72	1,76	1,18	1,17	1,07	1,12	1,11	1,0
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,23	0,18	0,21	0,23	0,23	0,2
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,2	0,19	0,18	0,17	0,22	0,31	0,21	0,22	0,21	0,2
Zr	0,0	0,03	0,07	0,05	0,12	0,11	0,23	0,14	0,18	0,1
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,02	0,01	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,05	0,07	0,05	0,0
Si	0,0	0,00	0,00	0,00	0,08	0,13	0,10	0,08	0,08	0,1
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,13	0,06	0,14	0,16	0,15	0,1
Fe	0,0	0,00	0,01	0,00	0,08	0,25	0,11	0,08	0,07	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,0
Ca	1,1	1,15	0,99	1,07	0,07	0,04	0,07	0,09	0,09	0,0
Ba	0,0	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,0
Sr	0,0	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Na	0,8	0,87	0,76	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,0
F	0,6	0,63	0,47	0,64	0,05	0,03	0,00	0,09	0,05	0,0
O	5,9	6,10	5,84	5,91	3,35	3,62	3,22	3,26	3,27	3,1
OH	1,0	0,87	0,94	1,08	2,82	2,20	2,73	2,41	2,81	0,0
A-vac	0,0	0,00	0,09	0,06	1,58	1,45	1,56	1,57	1,55	1,6

% (peso) de óxidos										
Amostra:							BLP-39			
Análise:	Pirocloro 2						Pirocloro 3			
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	1
Nb₂O₅	54,3	40,9	39,9	36,1	37,3	41,3	38,5	37,8	37,1	71,78
Ta₂O₅	6,27	17,5	15,5	18,2	17,8	13,6	15,9	16,3	18,6	0
As₂O₅	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01
TiO₂	5,24	5,00	5,28	4,94	5,12	5,38	6,35	6,20	6,15	3,479
ZrO₂	1,29	3,14	2,53	2,89	3,13	3,18	5,57	4,87	5,48	0,342
HfO₂	0,00	0,00	0,22	0,09	0,00	0,03	0,00	0,00	0,39	0
ThO₂	2,72	4,12	3,01	2,89	3,40	3,29	5,37	4,63	5,00	0,15
UO₂	4,52	5,89	7,74	9,02	7,09	7,94	8,97	11,2	7,59	0,02
SiO₂	0,56	1,63	1,32	1,45	1,63	1,44	6,38	5,64	5,70	0
La₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,103
Ce₂O₃	1,03	1,12	1,19	1,61	1,37	0,72	1,40	1,14	1,22	0,428
Pr₂O₃	0,00	0,00	0,40	0,00	0,23	0,00	0,00	0,05	0,28	0,164
Nd₂O₃	0,32	0,00	0,00	0,07	0,00	0,25	0,07	0,09	0,25	0,036
Sm₂O₃	0,02	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01	0,00	0,02	0,07	0
Eu₂O₃	0,00	0,01	0,00	0,12	0,00	0,05	0,00	0,08	0,07	0
Gd₂O₃	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,05	0,09	0,16	0,17	0,099
Tb₂O₃	1,71	0,00	0,00	0,66	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0
Dy₂O₃	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,511
Ho₂O₃	0,00	0,00	0,16	0,11	0,14	0,19	0,00	0,00	0,03	0
Er₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,00	0
Tm₂O₃	0,28	0,45	0,39	0,40	0,35	0,35	0,11	0,14	0,46	0
Yb₂O₃	0,00	0,11	0,24	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Lu₂O₃	0,08	0,08	0,01	0,00	0,06	0,06	0,28	0,07	0,00	0
V₂O₃	0,07	0,06	0,04	0,00	0,01	0,04	0,01	0,12	0,00	0
Y₂O₃	0,00	0,13	0,00	0,09	0,00	0,02	0,19	0,23	0,19	0,122
Al₂O₃	0,53	1,06	1,21	1,25	1,37	1,14	0,04	0,13	0,34	0
FeO	2,76	2,24	2,37	2,27	2,20	2,59	2,22	2,23	2,05	0,182
MnO	0,19	0,35	0,30	0,30	0,43	0,38	0,22	0,23	0,20	0,006
MgO	0,01	0,11	0,06	0,10	0,09	0,06	0,06	0,03	0,06	0
PbO	1,92	1,09	1,36	0,99	0,98	0,82	0,28	0,29	0,23	0,261
CaO	1,15	1,59	1,78	1,80	1,71	1,80	0,33	0,50	0,98	18,00
BaO	0,96	0,60	0,60	0,49	0,44	0,55	0,50	0,37	0,32	0,127
SrO	1,39	0,41	0,70	0,30	0,35	0,51	0,00	0,00	0,00	0,892
Na₂O	0,05	0,00	0,02	0,08	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,147
K₂O	0,98	0,35	0,36	1,66	0,27	0,43	0,18	0,31	0,27	0,02
F	0,12	0,19	0,23	0,34	0,42	0,23	0,25	0,18	0,15	1,851

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:	Pirocloro 2						Pirocloro 3			BLP-
Análise:	1	2	3	4	5	6	1	2	3	1
Nb	1,5	1,16	1,18	1,10	1,10	1,20	0,96	0,98	0,9	1,84
Ta	0,1	0,30	0,27	0,33	0,31	0,24	0,24	0,25	0,2	0,00
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Ti	0,2	0,23	0,26	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,2	0,14
Zr	0,0	0,09	0,08	0,09	0,10	0,10	0,15	0,13	0,1	0,00
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Th	0,0	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,06	0,06	0,0	0,00
U	0,0	0,08	0,11	0,13	0,10	0,11	0,11	0,14	0,0	0,00
Si	0,0	0,10	0,08	0,10	0,10	0,09	0,36	0,33	0,3	0,00
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Ce	0,0	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	0,0	0,00
Pr	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Tb	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,0	0,00
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Al	0,0	0,07	0,09	0,10	0,10	0,08	0,00	0,00	0,0	0,00
Fe	0,1	0,11	0,13	0,12	0,12	0,14	0,10	0,10	0,0	0,00
Mn	0,0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,0	0,00
Mg	0,0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
Pb	0,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,0	0,00
Ca	0,0	0,10	0,12	0,13	0,12	0,12	0,02	0,03	0,0	1,09
Ba	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,0	0,00
Sr	0,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,0	0,02
Na	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,01
K	0,0	0,02	0,03	0,14	0,02	0,03	0,01	0,02	0,0	0,00
F	0,0	0,04	0,04	0,07	0,08	0,04	0,04	0,03	0,0	0,33
O	3,9	3,68	3,87	4,06	3,71	3,82	3,48	3,53	3,3	
OH	0,0	2,37	2,03	2,01	1,94	1,87	2,82	2,49	2,7	
A-vac	1,4	1,49	1,41	1,26	1,45	1,42	1,57	1,56	1,5	

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

BLP-											
Pirocloro 1			Pirocloro 2			Pirocloro 3					
2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
71,95	66,4	68,4	56,2	55,9	53,8	71,8	67,4	67,1	64,2	65,0	65,4
0,029	0,55	0,12	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0,36
0,028	0	0,03	0,01	0,04	0,04	0	0	0,02	0	0,02	0,00
3,219	2,58	2,54	1,82	2,03	2,99	2,92	3,53	3,67	3,90	3,77	3,10
0,307	0	0,22	0,02	0,03	0,12	0,33	0,92	1,06	1,37	1,47	1,99
0,251	0	0	0,19	0	0,07	0	0,24	0,00	0	0,11	0,00
0,055	0,05	0,02	0,00	0	0	0,13	0,05	0,15	0,11	0,08	0,14
0	0,01	0,04	0	0	0	0,06	0	0,00	0,01	0,05	0,00
0	0	0	0,70	0,67	1,19	0	0,41	0,35	1,39	1,60	1,40
0,123	0,16	0,33	0	0,11	0,17	0	0,05	0	0,01	0,09	0,08
0,472	0,29	0,30	0,55	0	0,25	0,43	0,20	0,30	0,12	0	0,48
0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0,00
0,054	0,07	0	0,02	0,26	0,02	0	0,27	0,09	0	0	0,00
0,045	0	0	0	0	0	0,00	0	0,04	0	0	0,00
0	0,03	0,09	0,15	0,12	0	0,05	0,04	0	0,02	0	0,00
0,129	0,10	0,17	0,02	0	0	0,15	0,14	0	0,14	0,15	0,00
0	0	0,74	1,67	0	0	0,25	0	1,65	0	1,75	0,00
0	0,39	0	0,32	0,01	0	0	0,36	0,01	0,71	0	0,30
0	0,01	0	0	0,12	0	0	0	0	0,10	0	0,00
0,2	0,02	0,05	0,06	0,06	0	0,08	0	0	0,09	0	0,08
0,168	0	0	0,27	0,12	0,04	0	0	0,32	0,07	0,07	0,02
0,239	0,00	0,23	0,03	0,21	0	0	0,18	0	0	0	0,11
0	0	0,00	0	0,13	0,00	0,32	0,16	0,12	0	0	0,00
0,01	0,00	0	0	0	0,01	0,00	0,03	0,10	0,03	0,00	0,02
0,221	0	0	0	0,03	0	0,11	0,21	0,12	0,14	0,18	0,22
0,006	0,02	0,02	0,00	0,02	0,06	0	0	0,00	0	0	0,01
0,172	0,05	0,12	0,29	0,35	0,79	0,06	0,13	0,08	0,28	0,27	0,40
0,042	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0	0,06
0	0,00	0,00	0	0,02	0,05	0	0	0,01	0	0	0,01
0,233	6,31	5,09	19,5	19,9	19,5	0,25	0,14	0,12	0,16	0,27	0,12
17,76	9,23	9,64	1,81	1,89	2,58	17,5	17,1	17,5	17,1	16,8	17,7
0,08	9,47	7,19	11,0	11,0	11,2	0,10	0	0,04	0,02	0,05	0,00
0,883	2,43	1,93	0,82	0,86	1,51	0,79	0,73	0,65	0,77	0,67	0,39
0,18	0,05	0,06	0,05	0,03	0,04	0,25	7,61	7,79	7,94	8,12	7,96
0,031	0,00	0	0,01	0	0	0,02	0,05	0,04	0,09	0,1	0,08
1,714	0,72	1,12	0,04	0	0,04	1,85	4,42	3,88	3,73	4,18	4,15

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

[illegible]

% (peso) de óxidos										
Amostra:					BLP-40					
Análise:	Pirocloro 1				Pirocloro 2					
	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1
Nb₂O₅	64,9	58,0	68,7	70,4	61,2	60,6	61,2	62,8	69,7	65,7
Ta₂O₅	0,00	0,29	0,24	0,32	0,00	0,37	0,20	0,56	0,12	0,45
As₂O₅	0,00	0,03	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO₂	3,13	3,40	3,07	3,16	3,38	3,48	3,36	3,45	2,89	3,52
ZrO₂	1,91	1,52	1,93	1,82	1,89	1,90	1,93	1,85	1,07	1,96
HfO₂	0,00	0,36	0,00	0,14	0,00	0,10	0,13	0,32	0,00	0,00
ThO₂	0,22	0,17	0,11	0,22	0,10	0,15	0,12	0,11	0,27	0,17
UO₂	0,07	0,01	0,03	0,00	0,04	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00
SiO₂	1,33	1,63	0,83	0,67	2,17	2,02	1,99	1,96	0,17	1,73
La₂O₃	0,00	0,03	0,00	0,00	0,14	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00
Ce₂O₃	0,24	0,74	0,29	0,08	0,63	0,00	0,00	0,12	0,22	0,00
Pr₂O₃	0,05	0,00	0,00	0,26	0,03	0,02	0,04	0,06	0,15	0,00
Nd₂O₃	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,31	0,21
Sm₂O₃	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00	0,05	0,02
Eu₂O₃	0,11	0,00	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00	0,03	0,02	0,00
Gd₂O₃	0,00	0,00	0,05	0,29	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,09
Tb₂O₃	0,00	1,16	0,10	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,68	0,00
Dy₂O₃	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,76	0,31	0,42	0,34	0,00
Ho₂O₃	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00
Er₂O₃	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Tm₂O₃	0,08	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,12	0,21	0,00	0,13
Yb₂O₃	0,00	0,12	0,00	0,27	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,23
Lu₂O₃	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,32	0,24	0,12	0,09
V₂O₃	0,00	0,00	0,07	0,02	0,02	0,05	0,01	0,05	0,01	0,03
Y₂O₃	0,17	0,00	0,18	0,22	0,30	0,25	0,24	0,29	0,23	0,00
Al₂O₃	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
FeO	0,46	0,36	0,39	0,72	0,54	0,56	0,52	0,54	0,20	0,59
MnO	0,09	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,09
MgO	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
PbO	0,17	8,50	0,74	0,05	0,11	0,26	0,20	0,12	0,23	2,54
CaO	17,4	3,11	17,3	17,6	17,5	17,3	17,7	17,6	18,6	15,4
BaO	0,07	13,0	0,29	0,05	0,00	0,14	0,16	0,00	0,04	0,91
SrO	0,41	2,49	0,70	0,47	0,38	0,38	0,42	0,33	0,47	1,64
Na₂O	7,96	0,06	0,22	0,48	7,96	7,86	7,67	7,67	0,58	0,05
K₂O	0,07	0,03	0,08	0,05	0,08	0,12	0,09	0,10	0,04	0,10
F	3,67	0,23	1,76	2,29	4,13	3,86	3,82	4,15	2,02	1,35

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:		BLP-40								
Análise:	Pirocloro 1				Pirocloro 2					
	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1
Nb	1,7	1,67	1,75	1,76	1,65	1,65	1,66	1,66	1,83	1,6
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,16	0,13	0,13	0,15	0,15	0,15	0,15	0,12	0,1
Zr	0,0	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,0	0,10	0,04	0,03	0,13	0,12	0,12	0,11	0,01	0,1
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	1,1	0,21	1,05	1,05	1,12	1,12	1,14	1,10	1,15	0,9
Ba	0,0	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,09	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0
Na	0,9	0,00	0,02	0,05	0,92	0,91	0,89	0,87	0,06	0,0
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,6	0,04	0,31	0,40	0,78	0,73	0,72	0,76	0,37	0,2
O	6,0	4,42	5,07	5,12	6,00	6,04	6,05	5,95	5,43	4,9
OH	0,9	1,92	1,38	1,71	0,00	0,00	0,88	0,00	1,21	1,5
A-vac	0,0	1,14	0,83	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,8

% (peso) de óxidos

Amostra:										
Análise:	Pirocloro 3				Pirocloro 4			Pirocloro 5		
	2	3	4	5	1	3	4	1	2	3
Nb₂O₅	64,9	65,6	58,9	66,9	57,3	59,3	72,9	62,3	62,6	64,3
Ta₂O₅	0,11	0,41	0,09	0,00	0,54	0,08	0,00	0,00	0,00	0,26
As₂O₅	0,03	0,03	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00
TiO₂	3,52	3,44	3,65	3,00	3,80	3,19	2,51	3,34	3,42	3,43
ZrO₂	2,07	2,03	1,36	1,92	1,69	0,77	0,16	1,91	2,04	2,00
HfO₂	0,05	0,02	0,00	0,00	0,32	0,13	0,00	0,00	0,00	0,02
ThO₂	0,14	0,17	0,05	0,20	0,15	0,06	0,01	0,15	0,21	0,17
UO₂	0,09	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO₂	1,89	1,77	1,52	0,45	1,73	0,27	0,00	1,90	1,93	2,01
La₂O₃	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,03	0,02
Ce₂O₃	0,12	0,44	0,49	0,35	0,64	1,29	0,22	0,34	0,00	0,30
Pr₂O₃	0,08	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00
Nd₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,20	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,18
Sm₂O₃	0,14	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,09
Eu₂O₃	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	0,04	0,00	0,00
Gd₂O₃	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tb₂O₃	0,00	1,92	2,27	0,25	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00	2,38
Dy₂O₃	0,00	0,19	0,00	0,14	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00
Ho₂O₃	0,00	0,15	0,23	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,02	0,00
Er₂O₃	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Tm₂O₃	0,44	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,34	0,00	0,00
Yb₂O₃	0,00	0,00	0,09	0,00	0,22	0,00	0,15	0,00	0,07	0,19
Lu₂O₃	0,00	0,09	0,07	0,25	0,00	0,05	0,01	0,15	0,00	0,00
V₂O₃	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,11	0,04	0,04	0,09
Y₂O₃	0,19	0,25	0,00	0,29	0,00	0,00	0,28	0,29	0,16	0,27
Al₂O₃	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,03	0,00
FeO	0,60	0,58	0,57	0,24	0,42	0,27	0,04	0,56	0,53	0,63
MnO	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,09	0,01
MgO	0,00	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00
PbO	0,21	0,21	8,31	0,19	4,75	9,18	0,24	0,23	0,20	0,20
CaO	17,2	17,2	7,03	17,9	14,1	3,79	18,0	17,3	17,3	17,2
BaO	0,00	0,00	6,20	0,00	2,01	12,3	0,04	0,00	0,06	0,06
SrO	0,40	0,38	3,53	0,42	3,69	2,40	0,68	0,44	0,45	0,37
Na₂O	2,38	1,99	0,07	2,91	2,16	0,09	0,35	7,76	7,84	7,91
K₂O	0,10	0,08	0,02	0,04	0,06	0,02	0,04	0,09	0,11	0,09
F	2,80	3,03	0,63	2,95	0,82	0,52	1,99	4,38	3,71	3,82

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:										
Análise:	Pirocloro 3				Pirocloro 4			Pirocloro 5		
	2	3	4	5	1	3	4	1	2	3
Nb	1,6	1,68	1,68	1,78	1,63	1,78	1,88	1,67	1,66	1,6
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,14	0,17	0,13	0,18	0,16	0,10	0,14	0,15	0,1
Zr	0,0	0,05	0,04	0,05	0,05	0,02	0,00	0,05	0,05	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,1	0,10	0,09	0,02	0,11	0,01	0,00	0,11	0,11	0,1
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,14	0,00	0,08	0,16	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	1,0	1,05	0,47	1,13	0,95	0,27	1,10	1,10	1,09	1,0
Ba	0,0	0,00	0,15	0,00	0,05	0,32	0,00	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,01	0,12	0,01	0,13	0,09	0,02	0,01	0,01	0,0
Na	0,2	0,22	0,01	0,33	0,26	0,01	0,03	0,89	0,89	0,8
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,5	0,54	0,12	0,55	0,16	0,11	0,36	0,82	0,69	0,6
O	5,2	5,30	4,75	5,57	5,46	4,64	5,32	5,97	5,89	5,9
OH	1,2	1,55	1,54	1,07	0,66	1,54	1,45	1,02	1,03	1,0
A-vac	0,6	0,61	0,98	0,46	0,46	1,08	0,77	0,00	0,00	0,0

% (peso) de óxidos

Amostra:										
Análise:	Pirocloro 6					Pirocloro 7				
	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3
Nb₂O₅	63,0	69,4	68,6	68,7	68,5	53,9	58,0	64,1	63,8	65,7
Ta₂O₅	0,05	0,36	0,00	0,28	0,42	0,00	0,18	0,79	0,26	0,13
As₂O₅	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,01
TiO₂	3,22	2,86	3,64	3,45	3,57	4,50	3,18	2,96	2,93	3,11
ZrO₂	1,89	1,61	1,97	1,75	1,62	1,00	0,47	1,96	2,00	2,01
HfO₂	0,06	0,00	0,07	0,10	0,12	0,04	0,00	0,00	0,13	0,25
ThO₂	0,10	0,23	0,06	0,14	0,19	0,09	0,10	0,10	0,14	0,18
UO₂	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10	0,00	0,00	0,13	0,19	0,00
SiO₂	1,90	0,26	1,36	1,02	1,31	1,23	0,35	2,23	2,18	1,46
La₂O₃	0,16	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
Ce₂O₃	0,22	0,00	0,07	0,40	0,07	0,73	1,05	0,00	0,20	0,06
Pr₂O₃	0,00	0,10	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00
Nd₂O₃	0,26	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,09	0,22	0,19	0,26
Sm₂O₃	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Eu₂O₃	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,10	0,00	0,04
Gd₂O₃	0,00	0,00	0,24	0,00	0,17	0,17	0,04	0,20	0,04	0,05
Tb₂O₃	0,00	0,45	0,00	2,51	0,00	0,00	1,03	0,27	0,96	1,74
Dy₂O₃	0,10	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,10	0,08	0,30	0,00
Ho₂O₃	0,07	0,00	0,15	0,00	0,09	0,20	0,12	0,01	0,07	0,00
Er₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,11	0,03	0,19	0,00	0,07	0,06	0,00
Tm₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,03	0,00	0,00	0,09	0,00
Yb₂O₃	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,16	0,00	0,00	0,18
Lu₂O₃	0,08	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,12	0,00	0,08	0,00
V₂O₃	0,03	0,00	0,04	0,06	0,06	0,12	0,00	0,02	0,01	0,06
Y₂O₃	0,16	0,25	0,21	0,13	0,27	0,00	0,00	0,25	0,21	0,34
Al₂O₃	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,07	0,03	0,00	0,00	0,00
FeO	0,69	0,66	0,30	0,55	0,42	0,35	0,22	0,57	0,59	0,47
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,03	0,05
MgO	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,07	0,04	0,00	0,03	0,00
PbO	0,14	0,23	0,17	0,17	0,21	8,58	11,0	0,21	0,07	0,14
CaO	16,4	18,3	17,8	17,6	17,7	7,18	2,81	17,3	17,2	17,6
BaO	0,00	0,15	0,00	0,04	0,11	6,15	13,3	0,08	0,00	0,00
SrO	0,42	0,47	0,43	0,39	0,34	2,88	1,55	0,39	0,38	0,42
Na₂O	7,94	1,03	0,13	0,48	0,29	0,71	0,00	7,96	7,81	7,77
K₂O	0,10	0,03	0,14	0,08	0,10	0,05	0,01	0,11	0,10	0,07
F	3,85	2,56	1,73	2,31	1,86	0,84	0,28	3,59	4,18	3,83

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:										
Análise:	Pirocloro 6					Pirocloro 7				
	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3
Nb	1,6	1,80	1,71	1,73	1,72	1,63	1,78	1,67	1,67	1,7
Ta	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	0,1	0,12	0,15	0,14	0,15	0,22	0,16	0,12	0,12	0,1
Zr	0,0	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,01	0,05	0,05	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,1	0,01	0,07	0,05	0,07	0,08	0,02	0,13	0,12	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,0	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,20	0,00	0,00	0,0
Ca	1,0	1,13	1,05	1,05	1,05	0,51	0,20	1,06	1,07	1,0
Ba	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,35	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,11	0,06	0,01	0,01	0,0
Na	0,9	0,11	0,01	0,05	0,03	0,09	0,00	0,89	0,88	0,8
K	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,7	0,46	0,30	0,40	0,32	0,17	0,06	0,65	0,76	0,7
O	5,8	5,38	4,96	5,20	5,03	4,77	4,65	5,90	5,96	6,0
OH	1,0	1,33	1,49	1,79	1,50	0,66	1,61	1,09	0,00	0,9
A-vac	0,0	0,66	0,87	0,77	0,84	0,89	1,09	0,00	0,00	0,0

<u>% (peso) de óxidos</u>										
Amostra:										
Análise:	Pirocloro 8					Pirocloro 9				
	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3
Nb₂O₅	45,6	60,9	65,7	55,2	56,5	57,2	65,1	64,9	65,0	68,6
Ta₂O₅	0,04	0,34	1,19	0,01	0,41	0,13	0,42	0,04	0,14	0,00
As₂O₅	0,00	0,07	0,00	0,00	0,08	0,03	0,01	0,08	0,00	0,00
TiO₂	30,8	3,34	3,39	4,37	3,25	3,12	3,39	3,02	3,08	2,68
ZrO₂	0,63	1,95	1,97	1,17	1,32	1,52	1,78	1,92	1,92	1,26
HfO₂	0,11	0,10	0,16	0,15	0,00	0,00	0,12	0,00	0,03	0,00
ThO₂	0,03	0,15	0,26	0,11	0,05	0,05	0,12	0,22	0,27	0,21
UO₂	0,00	0,00	0,28	0,05	0,00	0,03	0,06	0,05	0,01	0,02
SiO₂	0,44	0,39	2,42	2,14	1,42	1,66	1,59	1,43	1,23	0,28
La₂O₃	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00
Ce₂O₃	0,07	0,45	0,00	0,82	0,48	0,68	0,22	0,23	0,04	0,30
Pr₂O₃	0,00	0,33	0,06	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,09
Nd₂O₃	0,43	0,04	0,00	0,06	0,00	0,28	0,07	0,19	0,27	0,07
Sm₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eu₂O₃	0,03	0,00	0,06	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd₂O₃	0,17	0,00	0,04	0,00	0,17	0,21	0,00	0,34	0,07	0,09
Tb₂O₃	1,31	0,00	0,41	0,08	2,25	0,20	0,00	1,08	1,30	1,42
Dy₂O₃	0,02	0,43	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,12
Ho₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,09
Er₂O₃	0,22	0,00	0,20	0,00	0,22	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Tm₂O₃	0,11	0,07	0,23	0,14	0,00	0,00	0,02	0,13	0,00	0,00
Yb₂O₃	0,30	0,00	0,00	0,04	0,00	0,15	0,00	0,29	0,07	0,02
Lu₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,07	0,12	0,00	0,00
V₂O₃	0,27	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,04	0,01	0,04	0,03
Y₂O₃	1,27	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,20	0,02
Al₂O₃	0,04	0,01	0,00	0,03	0,03	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00
FeO	3,97	0,17	0,65	0,49	0,27	0,35	0,59	0,52	0,45	0,18
MnO	0,09	0,00	0,07	0,08	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00
MgO	0,03	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
PbO	2,81	7,36	0,25	9,47	11,1	10,7	0,20	0,17	0,12	2,05
CaO	5,56	11,6	17,7	10,8	6,04	4,21	17,5	17,3	17,4	17,0
BaO	1,29	3,08	0,29	3,68	8,05	10,7	0,08	0,10	0,01	0,00
SrO	0,88	1,52	0,47	2,15	2,49	2,17	0,37	0,34	0,42	1,08
Na₂O	2,46	2,40	6,09	0,43	0,03	0,23	7,61	7,78	7,94	5,14
K₂O	0,02	0,02	0,10	0,07	0,03	0,04	0,09	0,08	0,09	0,04
F	1,72	1,55	2,87	1,62	0,35	0,64	3,99	3,17	3,88	2,07

Distribuição catiónica na base de $\Sigma B=2$

Amostra:										
Análise:	Pirocloro 8					Pirocloro 9				
	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3
Nb	0,9	1,74	1,64	1,60	1,68	1,6	1,69	1,72	1,72	1,8
Ta	0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
As	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Ti	1,0	0,15	0,14	0,21	0,16	0,1	0,14	0,13	0,13	0,1
Zr	0,0	0,06	0,05	0,03	0,04	0,0	0,05	0,05	0,05	0,0
Hf	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Th	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
U	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Si	0,0	0,02	0,13	0,14	0,09	0,1	0,09	0,08	0,07	0,0
La	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Ce	0,0	0,01	0,00	0,01	0,01	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Pr	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Nd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Sm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Eu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Gd	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Tb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,04	0,0	0,00	0,02	0,02	0,0
Dy	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Ho	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Er	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Tm	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Yb	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Lu	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
V	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Y	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Al	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Fe	0,1	0,00	0,03	0,02	0,01	0,0	0,02	0,02	0,02	0,0
Mn	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Mg	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
Pb	0,0	0,12	0,00	0,16	0,19	0,1	0,00	0,00	0,00	0,0
Ca	0,2	0,79	1,05	0,74	0,42	0,2	1,08	1,09	1,09	1,0
Ba	0,0	0,07	0,00	0,09	0,20	0,2	0,00	0,00	0,00	0,0
Sr	0,0	0,05	0,01	0,08	0,09	0,0	0,01	0,01	0,01	0,0
Na	0,2	0,29	0,65	0,05	0,00	0,0	0,85	0,88	0,90	0,5
K	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0
F	0,2	0,31	0,50	0,32	0,07	0,1	0,72	0,58	0,72	0,3
O	3,3	5,27	5,65	4,97	4,82	4,5	5,90	6,07	6,06	5,8
OH	3,6	1,14	1,34	1,06	1,52	1,7	1,09	0,92	0,93	1,1
A-vac	1,2	0,60	0,19	0,79	0,97	1,0	-	-	-	0,2

1

2

3

4

5

6

Anexo III

7

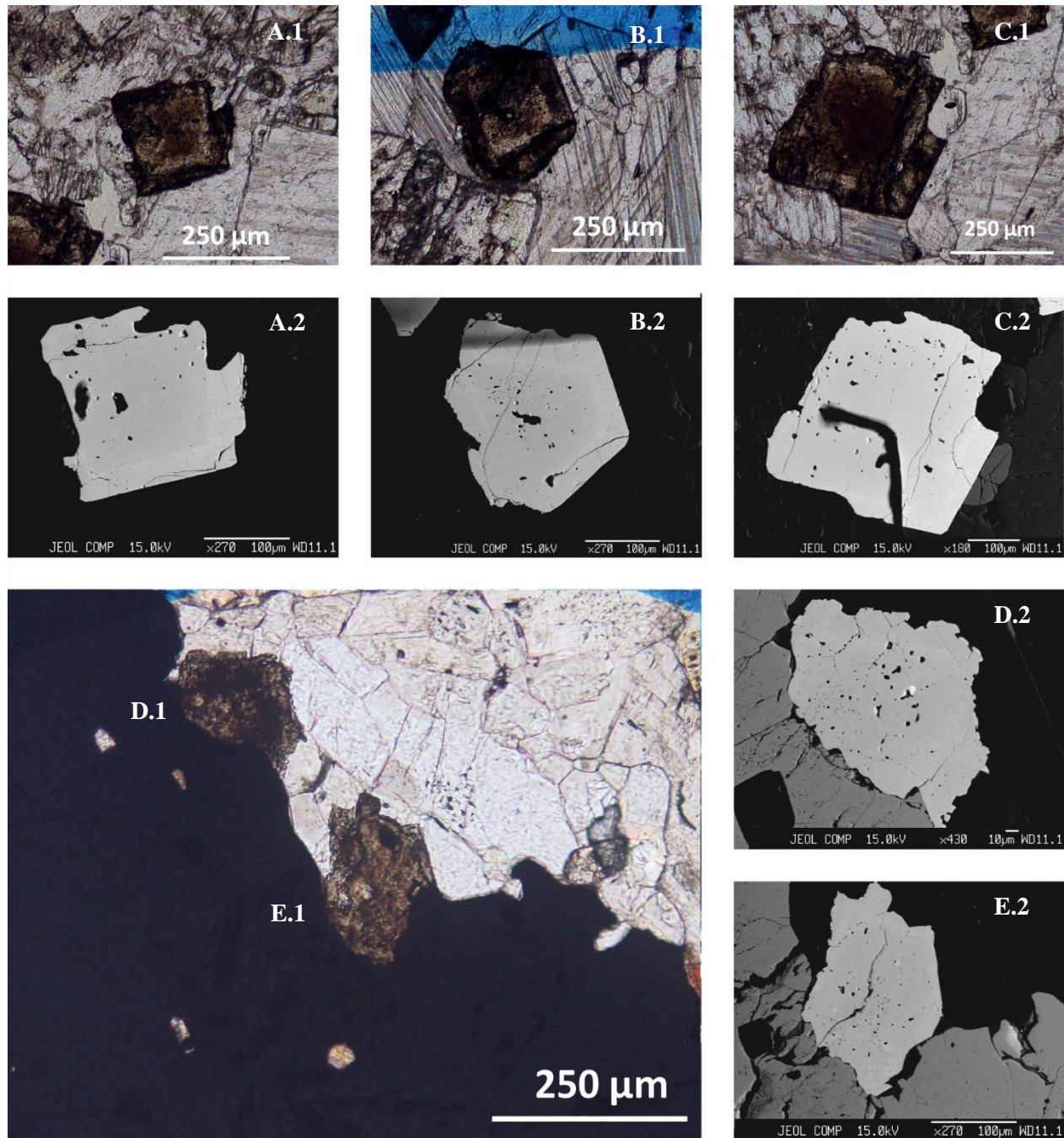
Fotomicrografias e imagens de electrões retrodifundidos (MSE) obtidas em
pirocloros presentes nas amostras da sondagem BLS-1 do CCB

8

9



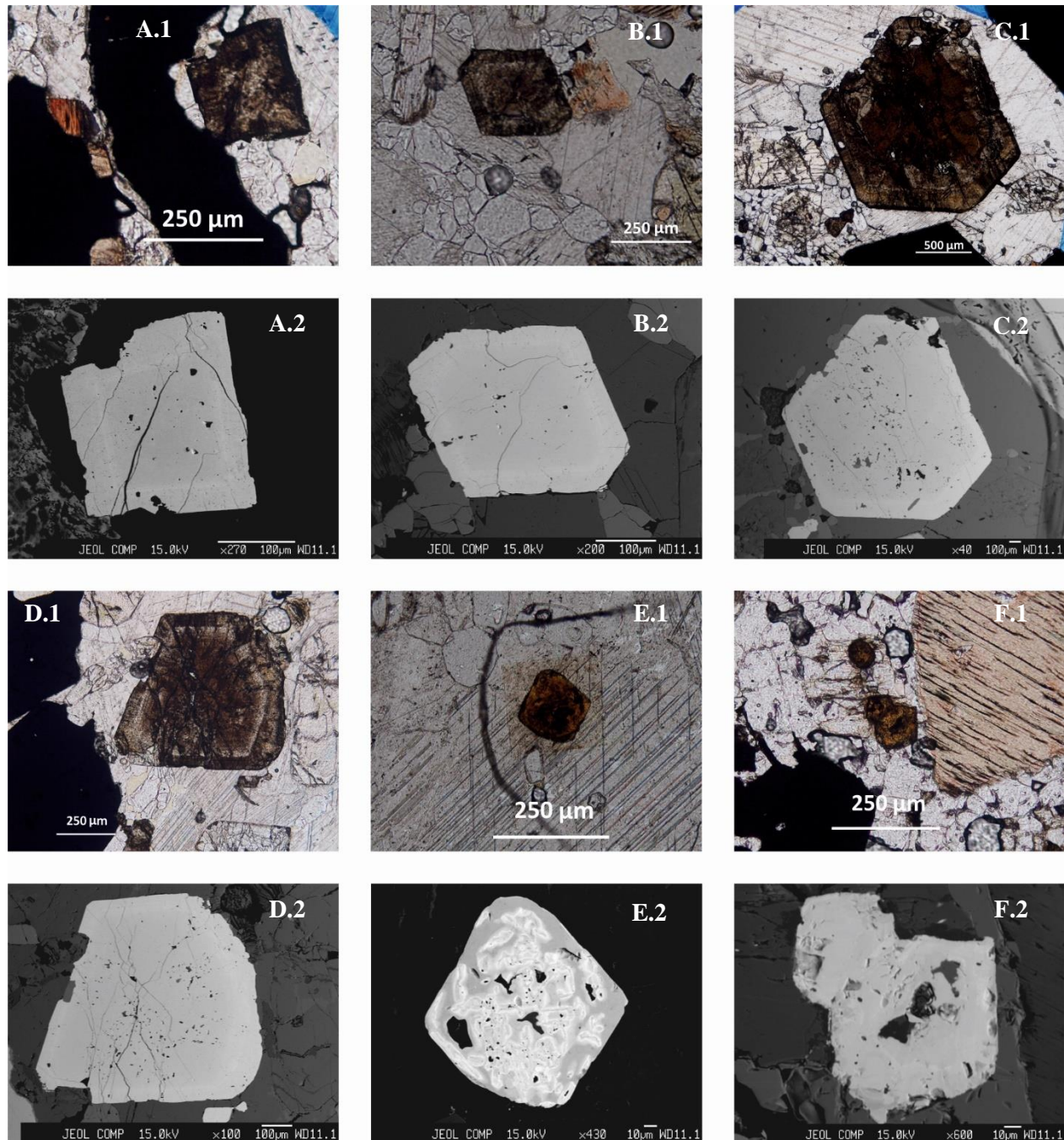
Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos



Estampa I: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, pouco degradados, pertencentes à amostra BLS-1 (cálcio-carbonatito), associados essencialmente a calcite e magnetite. O zonamento concêntrico, embora pouco representado nas imagens de electrões retro-difundidos, é observável opticamente nos pirocloros **A**, **B** e **C**, que apresentam uma cor fortemente acastanhada no núcleo em relação ao bordo menos escuro e ao halo intermédio, bastante pálido. Os pirocloros **D** e **E** não se encontram zonados, apresentando uma homogeneidade composicional evidenciada nas imagens de microsonda (**D.2** e **D.3**).



Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

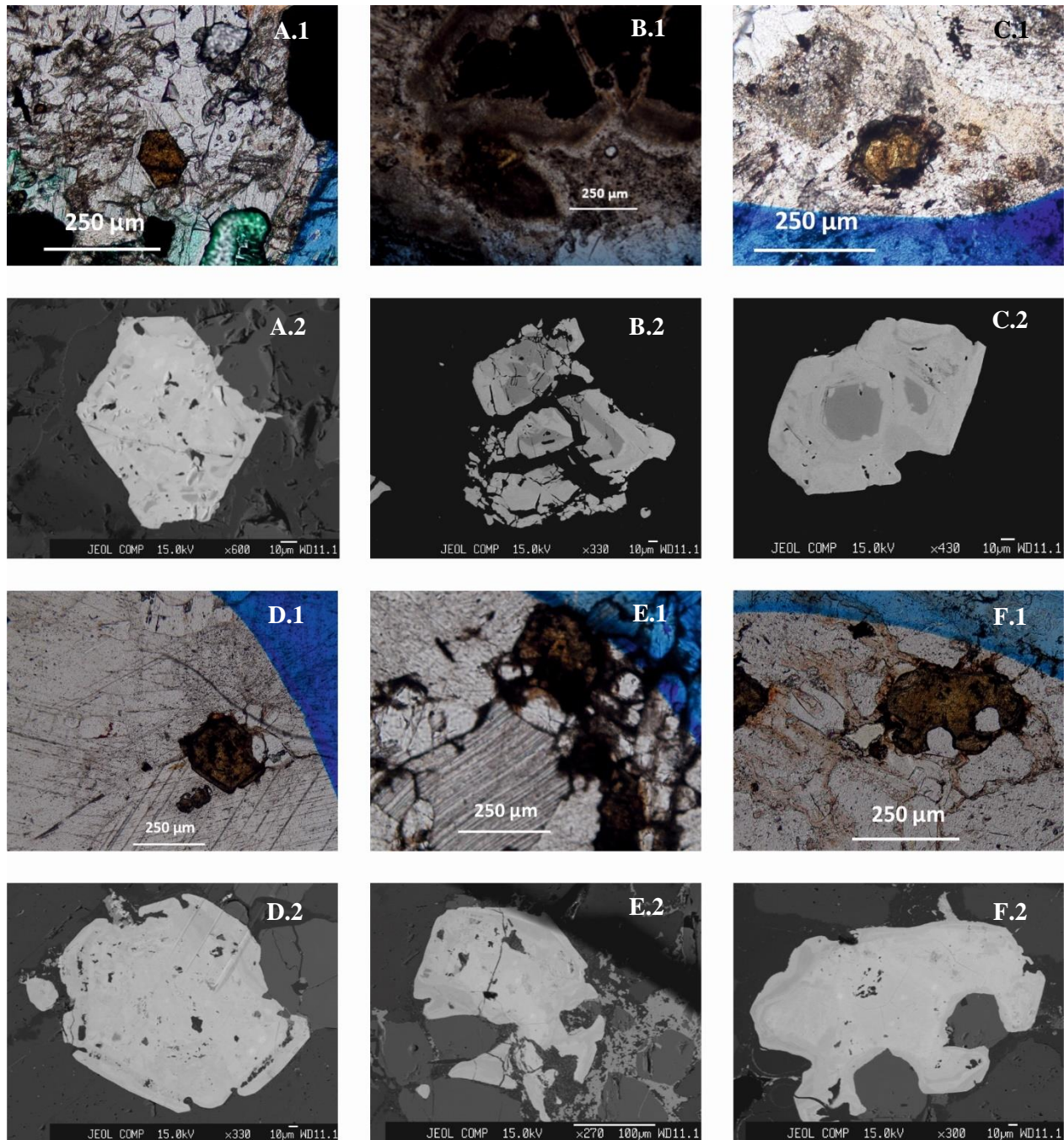


Estampa II: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, pertencentes às amostras de cálcio-carbonatitos BLS-1 (pirocloros **A**, **B**, **C** e **D**), B-1a (pirocloro **E**) e B-4b (pirocloro **F**). O pirocloro **A** apresenta um núcleo claro em relação à periferia (mais escura), enquanto os pirocloros **B**, **C** e **D** exibem uma textura de crescimento com um núcleo bastante escuro em relação ao bordo do mineral, e uma zona intermédia irregular mais clara. O pirocloro **E** apresenta sinais de metassomatismo, uma vez que revela uma textura muito difusa com manchas de corrosão/lixiviação em microfracturas na sua zonação críptica, de onde se destaca uma orla de reacção. O pirocloro **F**, embora apresente algumas zonas de corrosão ténues, revela homogeneidade composicional.

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

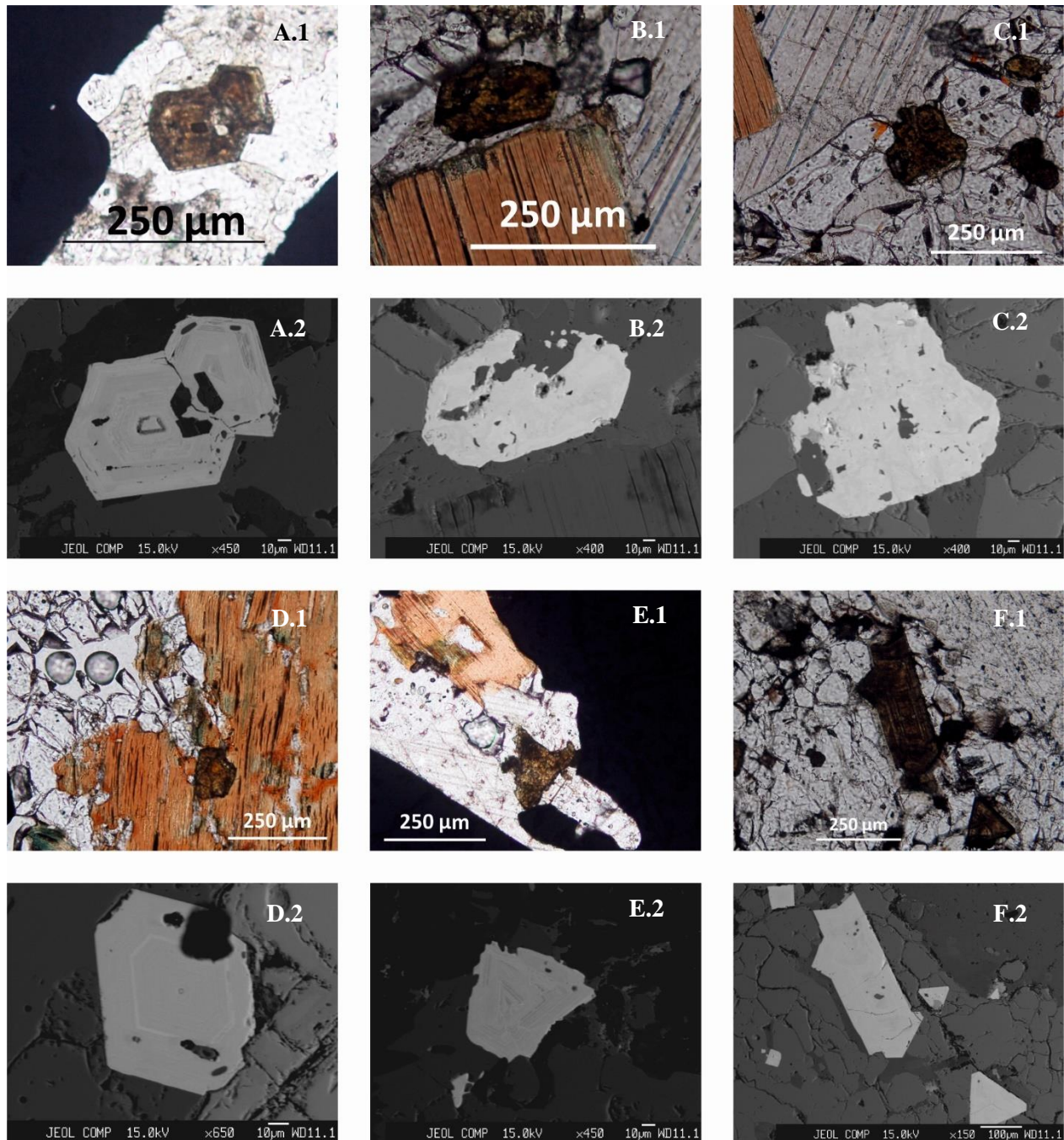
Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos



Estampa III: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, pertencentes às amostras dos cálcio-carbonatitos B-4b (pirocloro **A**), B-5 (pirocloros **B** e **C**) e B-6 (pirocloros **D**, **E** e **F**). Os pirocloros **A**, **D**, **E** e **F** não revelam zonamento evidenciável, exibindo apenas ligeiros bordos de alteração em imagem de electrões retro-difundidos. Os pirocloros **B** e **C** apresentam um zonamento críptico concêntrico, revelando ligeiras marcas de alteração irregulares na periferia, pouco significativas; estes pirocloros encontram-se numa amostra muito meteorizada onde abundam pirocloros “fantasma”.

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

- 1
- 2
- 3



Estampa IV: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, associados a minerais carbonatados, flogopite e magnetite, pertencentes às amostras dos cálcio-carbonatitos B-7 (A), B-9 (B e C), B-11 (D e E) e B-12 (F). Os pirocloros A e F apresentam zonamento concêntrico, com cor escura no centro e na periferia, e uma zona intermédia mais clara. Os restantes cristais de pirocloro destas amostras não exibem texturas de crescimento, reflectindo uma composição relativamente homogénea.

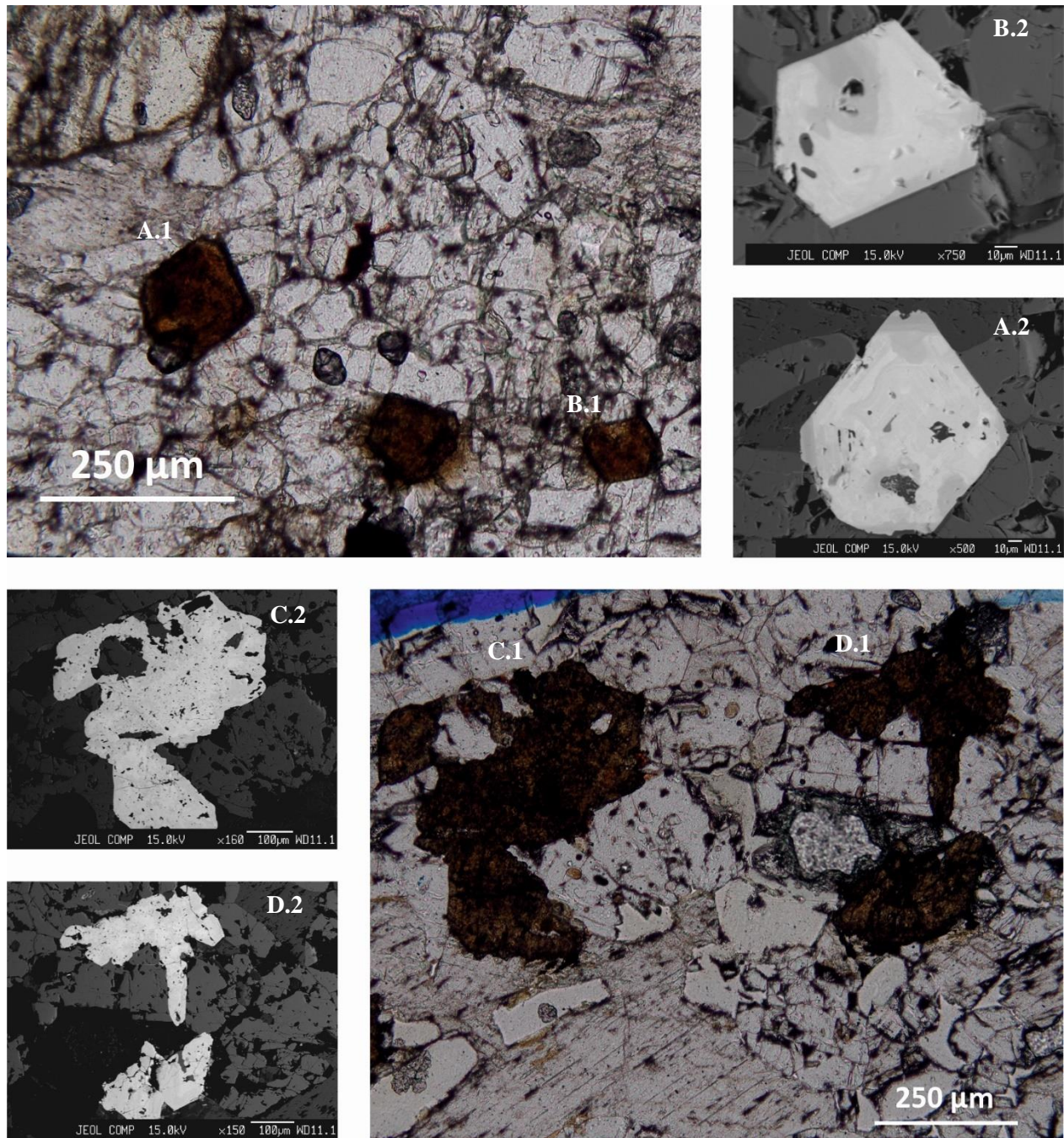
Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

1

2

3

4



Estampa V: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, associados a minerais carbonatados, pertencentes às lâminas B-15 (A e B) e B-16 (C e D). Os cristais de pirocloro A e B apresentam bordos de corrosão irregulares muito bem representados em imagem de electrões retrodifundidos, correspondendo às zonas amareladas nas fotomicrografias. Os pirocloros C e D não apresentam zonamento significativo, embora se encontrem bastante degradados.

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

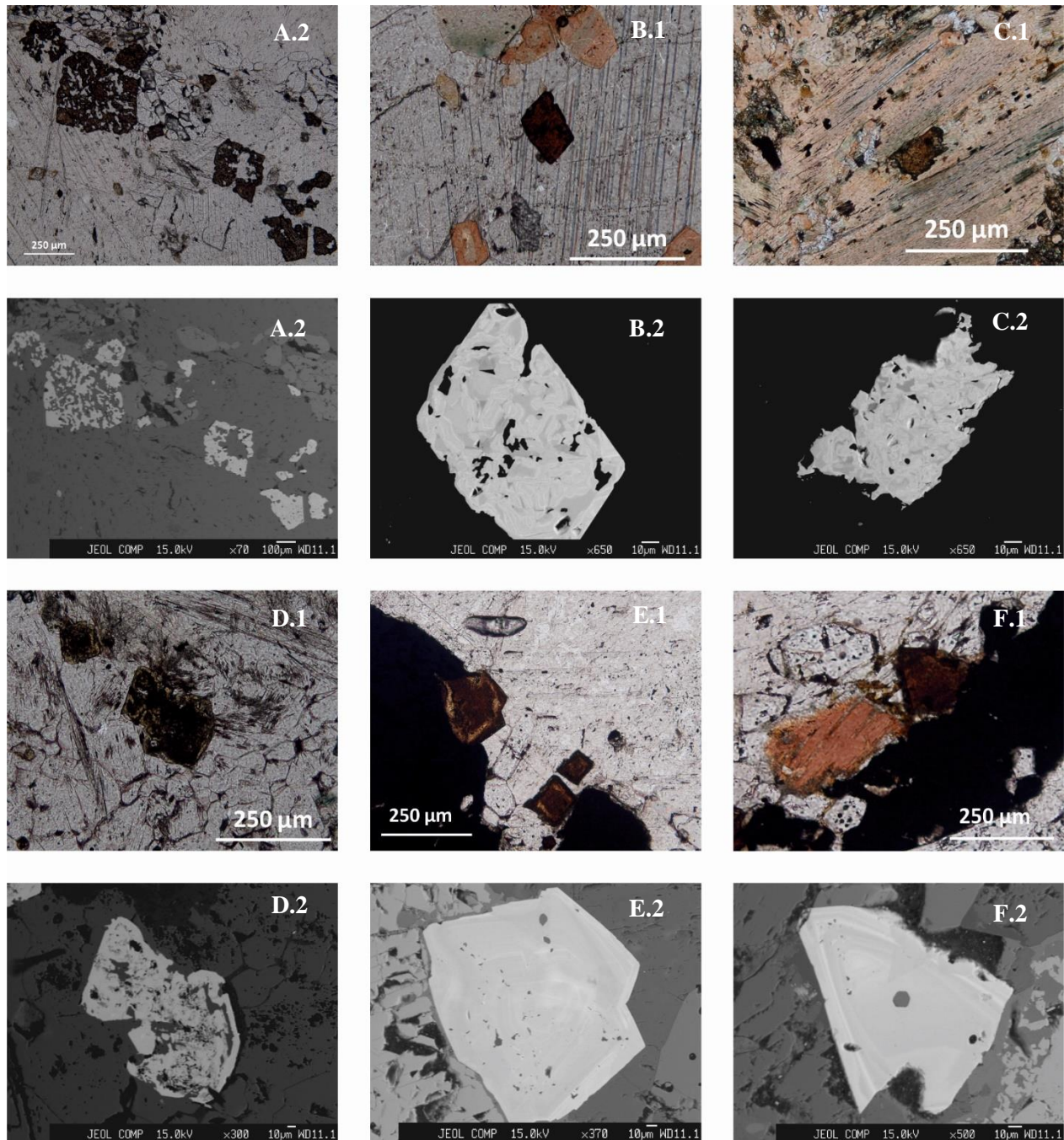
1

2

3

4

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

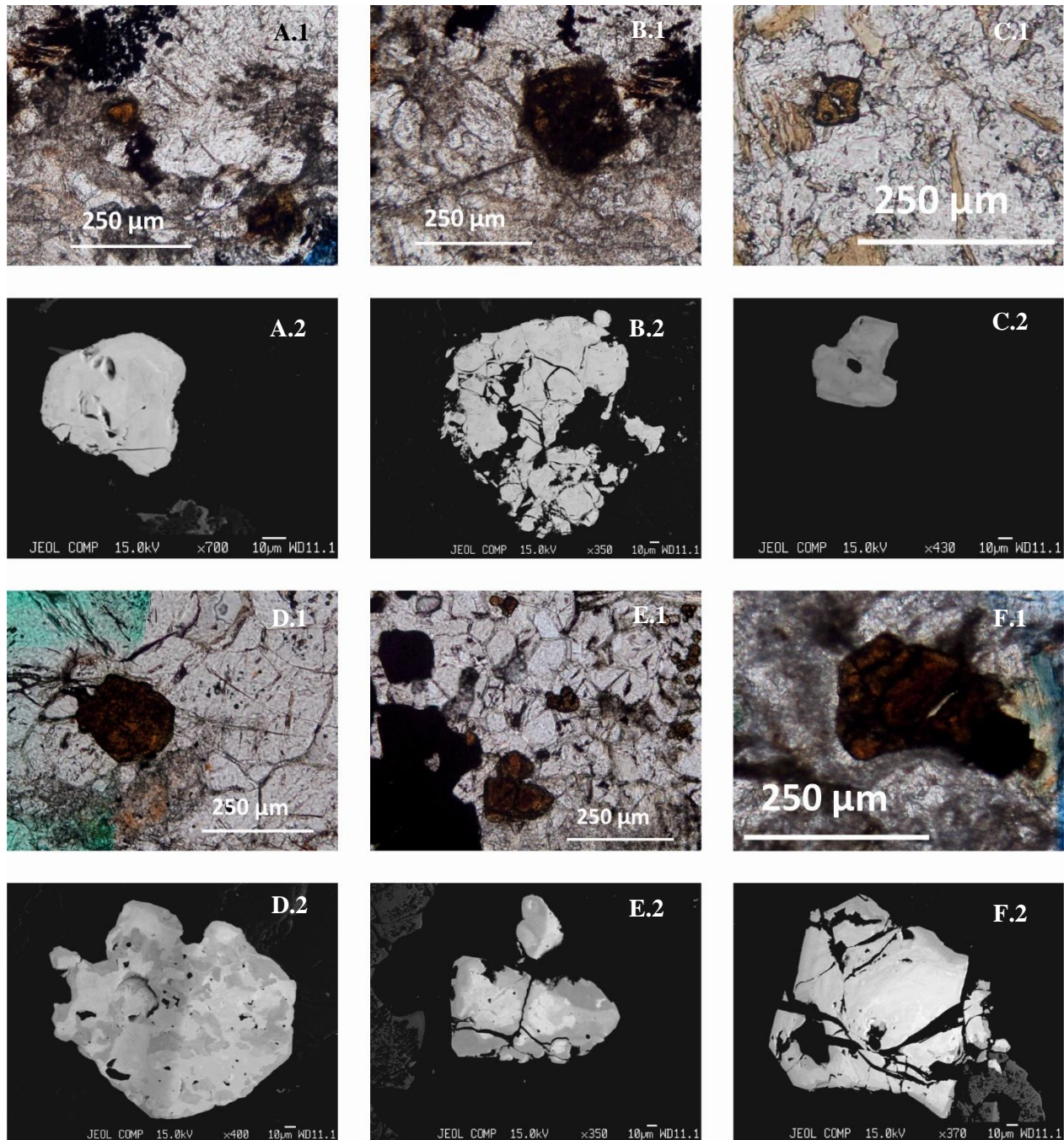


Estampa VI: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, associados a minerais carbonatados, micas (flogopite e biotite) e magnetite (opaca), representantes das amostras B-17 (A), B-23 (D) e B-25 (E e F), correspondentes ao cálcio-carbonatito e da amostra B-18 (B e C), correspondente ao glimerito. Os pirocloros A e D parecem exibir uma composição homogénea, embora se encontrem muito meteorizados, enquanto os pirocloros E e F, com zonamento concêntrico, não representam fenómenos de alteração. Os pirocloros B e C demonstram as características de eventos metassomáticos que incidiram nestas fácies.

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

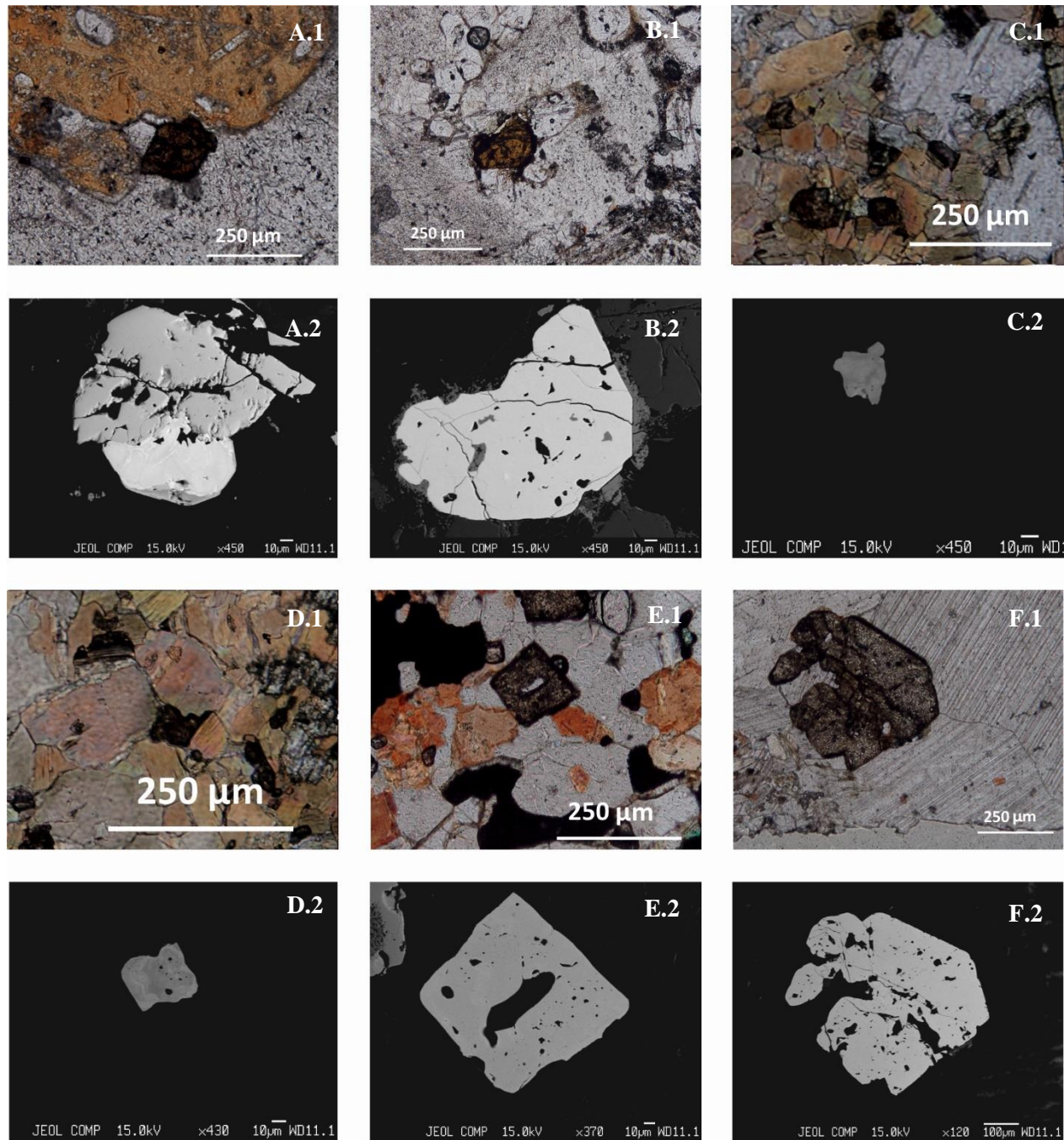


Estampa VII: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, associados a minerais carbonatados, flogopite e magnetite de amostras representativas do cálcio-carbonatito B-27 (A e B) e B-31 (E e F) e do glimerito B-29 (C) e B-30 (D). Os cristais de pirocloro A e B encontram-se muito alterados, mas não exibem quaisquer texturas crípticas, indicando a incidência de processos de meteorização. O pirocloro C não se encontra zonado, nem alterado, o que infere uma homogeneidade composicional. Os pirocloros D, E e F apresentam texturas secundárias, exibindo bordos de corrosão e uma textura difusa no seu zonamento críptico, reflectindo a incidência dos processos metassomáticos.

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos



Estampa VIII: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, associados a minerais carbonatados, flogopite e magnetite, presentes nas lâminas B-32 (A) e B-33 (B) representativas de cálcio-carbonatitos, e B-35 (C e D) e B-36 (E e F) representativas de glimeritos. Este conjunto de pirocloros não apresentam zonamento, revelando uma composição química relativamente homogénea. O pirocloro A encontra-se em intercrescimento com um cristal de badeleiíte (ZrO_2), observável na imagem A.2.

Química-mineral de pirocloros associados a formações carbonatíticas do Bailundo (Angola): sua utilização como possíveis indicadores petrogenéticos e metalogenéticos

1

2



1

2

3

4

5

6

Anexo IV

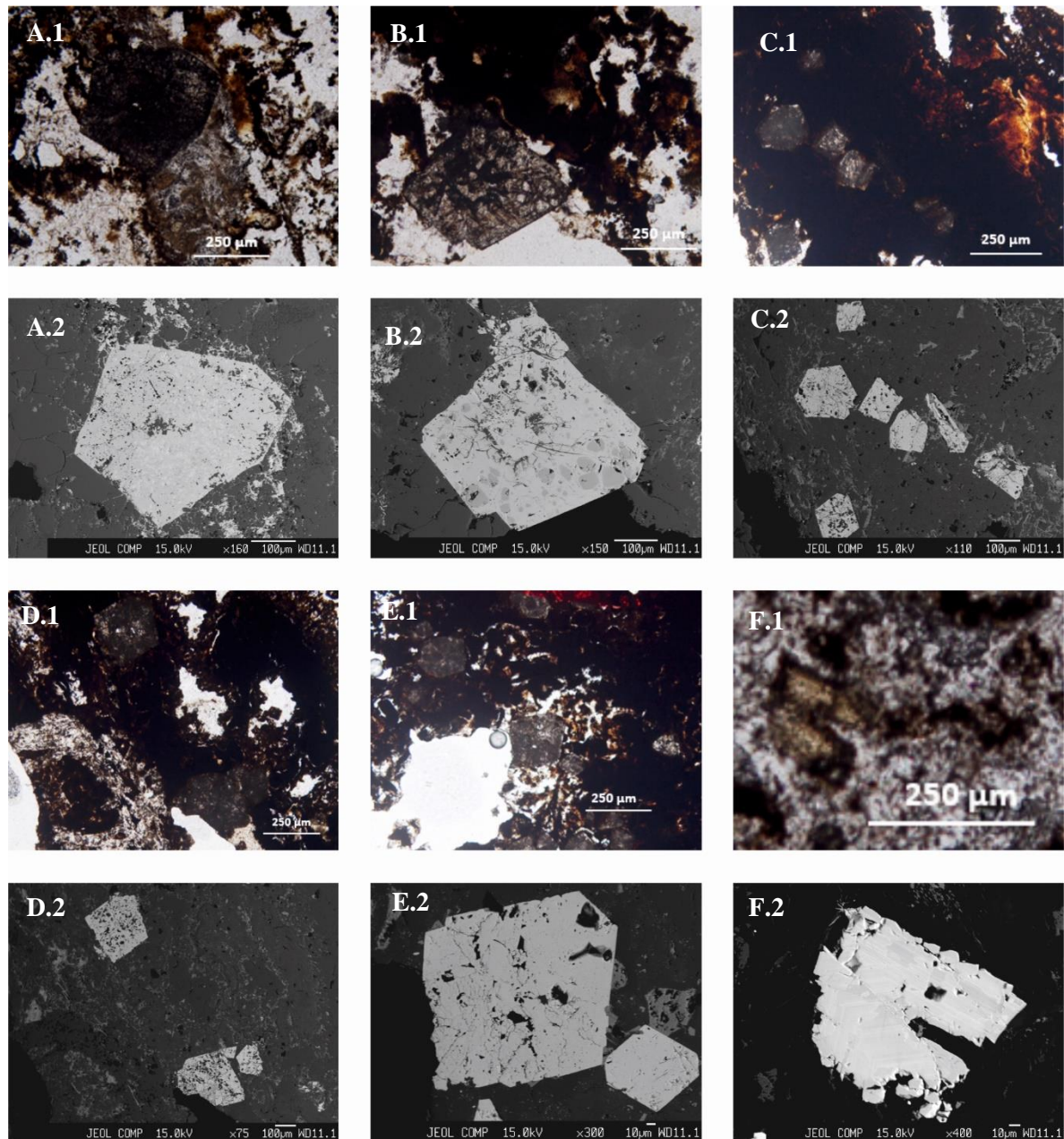
7

Fotomicrografias e imagens de electrões retrodifundidos (MSE) obtidas em

8

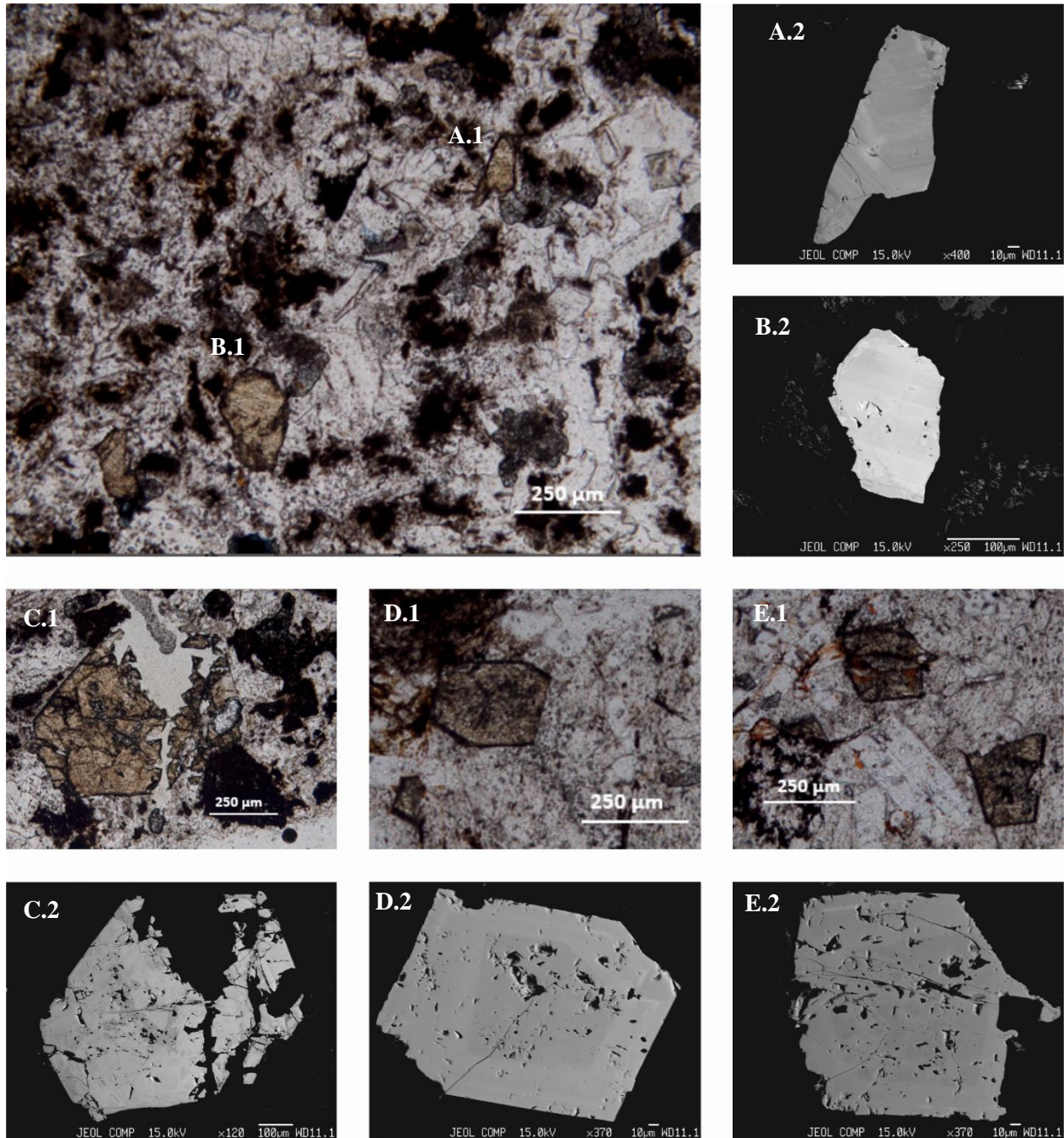
pirocloros presentes nas amostras superficiais do CCB





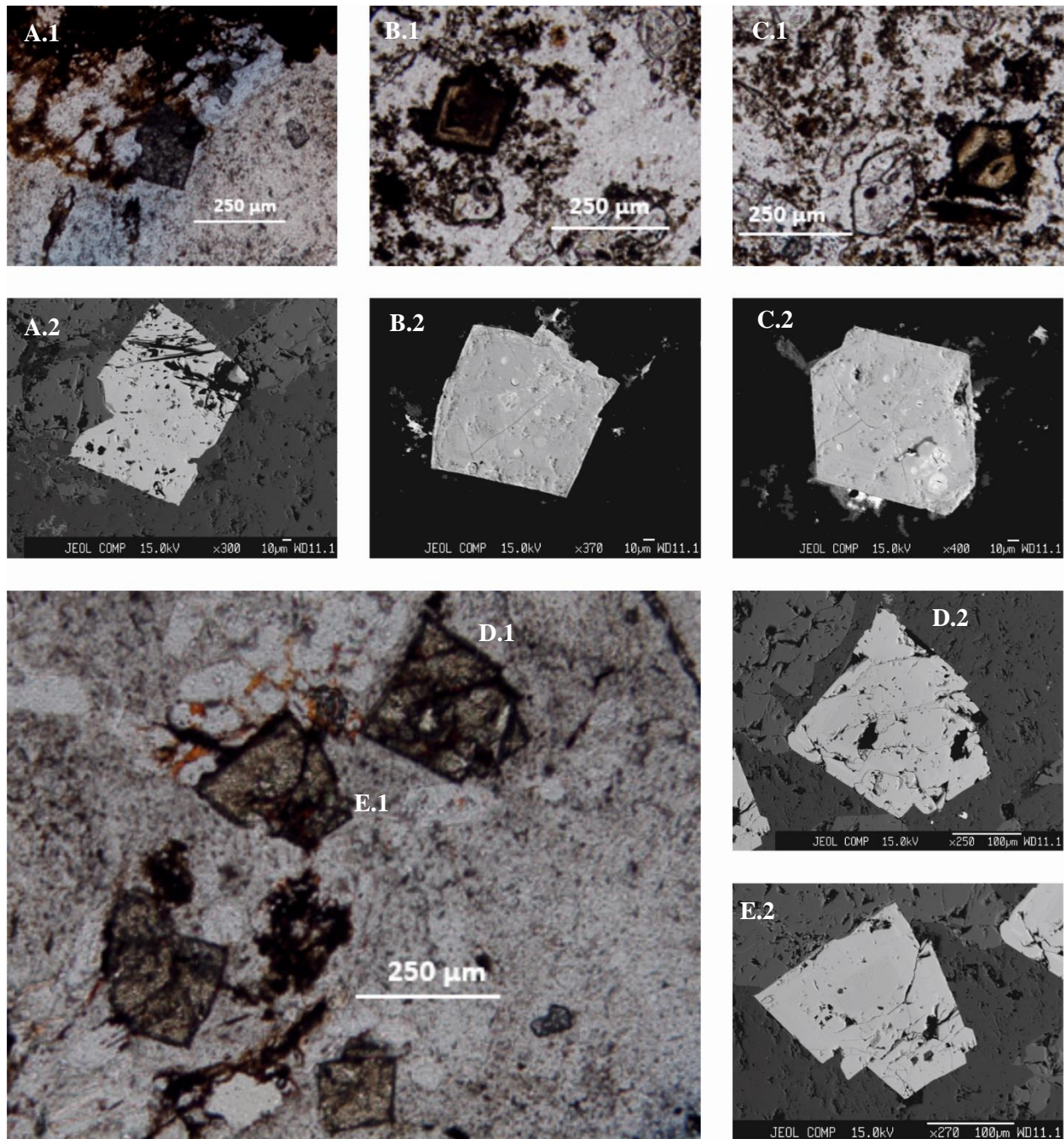
1
2 **Estampa I:** Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica)
3 de cristais de pirocloro (sub)édricos, nos cálcio-carbonatitos BLP-5 (pirocloros **A** e **B**), BLP-6 (pirocloros
4 **C**, **D** e **E**) e BLP-29 (pirocloro **F**). Os pirocloros **A**, **B**, **C**, **D** e **E** estão associados a oxi-hidróxidos de Fe e
5 não apresentam texturas zonadas. Nas imagens **A.2** e **B.2** observa-se a heterogeneidade composicional
6 nestes cristais, indicadoras de intercrescimento ou exsoluções entre pirocloros e outros minerais. A imagem
7 **F** revela um fragmento de um cristal de pirocloro, com relíquias do seu zonamento primário, embora
8 bastante alterado.





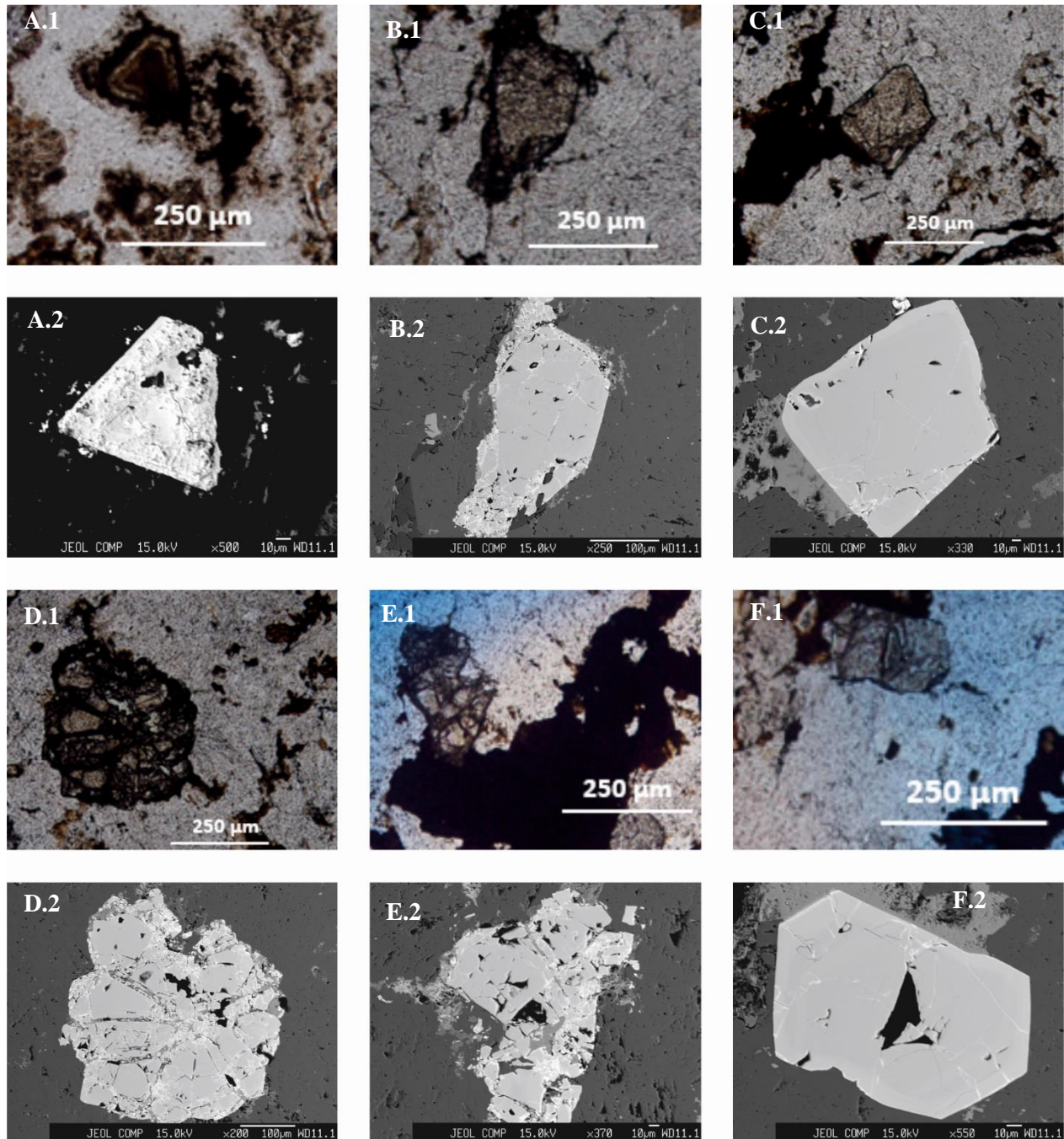
Estampa II: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, ou fragmentos de pirocloros, pertencentes ao cálcio-carbonatito BLP-29 (A, B e C) e ao fenito BLP-31 (D e E). As imagens da amostra BLP-29 revelam clastos e fragmentos de cristais de pirocloro, que mantêm as texturas do zonamento primário (bem visível nas imagens crípticas A.2, B.2 e C.2). Os pirocloros D e E, embora bem preservados e com zonamentos crípticos concêntricos, exibem evidências de corrosão.





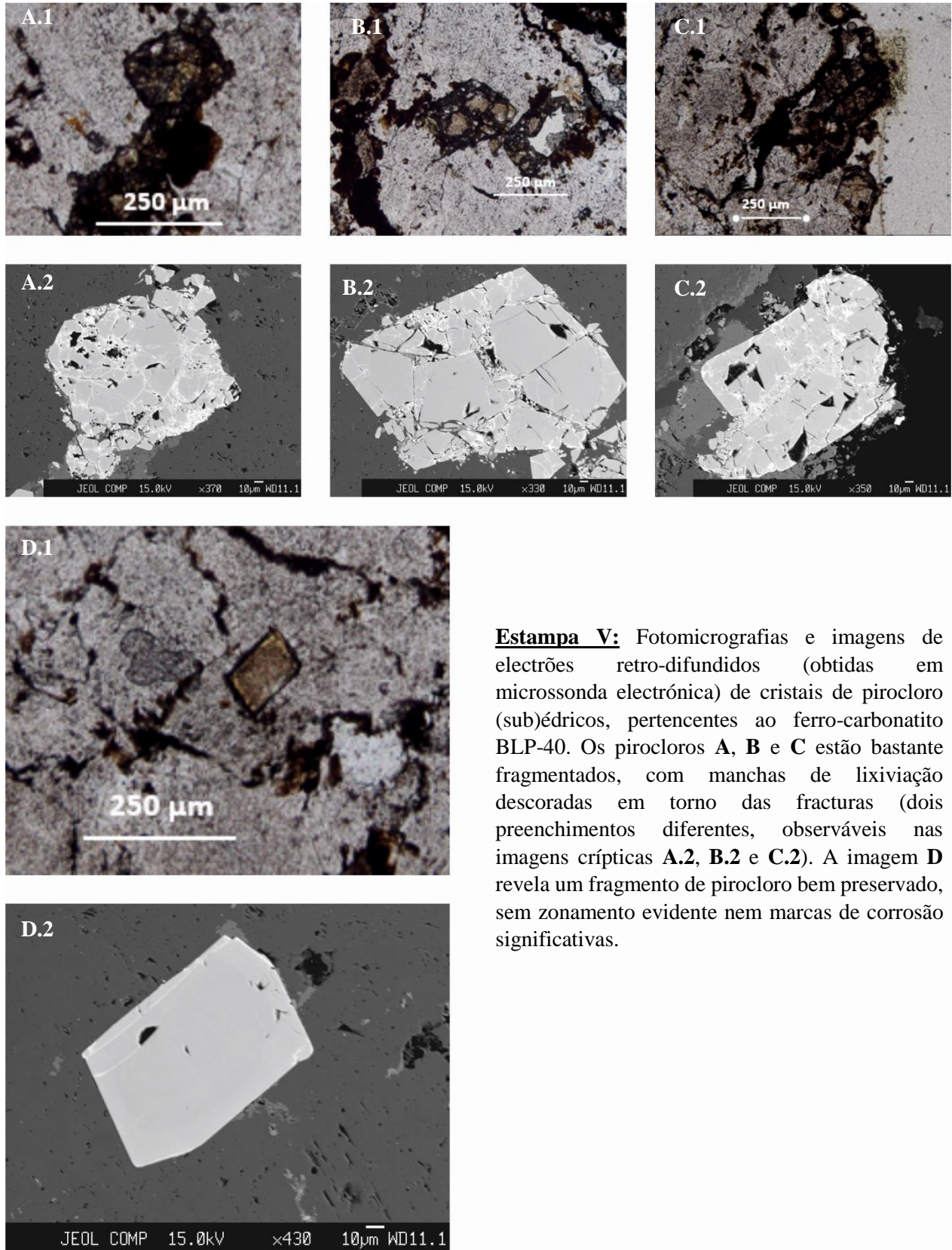
Estampa III: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, pertencentes aos fenitos BLP-31 (A, D e E) e BLP-32 (B e C). Os pirocloros A, D e E, ocorrem como cristais subédricos bem preservados, sem zonamentos observáveis, exibindo apenas algumas fracturas internas e raras evidências de corrosão. Os pirocloros B e C encontram-se bastante alterados, com texturas secundárias de alteração visíveis nos bordos (nas imagens B.1 e C.1) e com manchas descoradas irregulares na sua superfície (nas imagens B.2 e C.2), indicando intensa lixiviação.





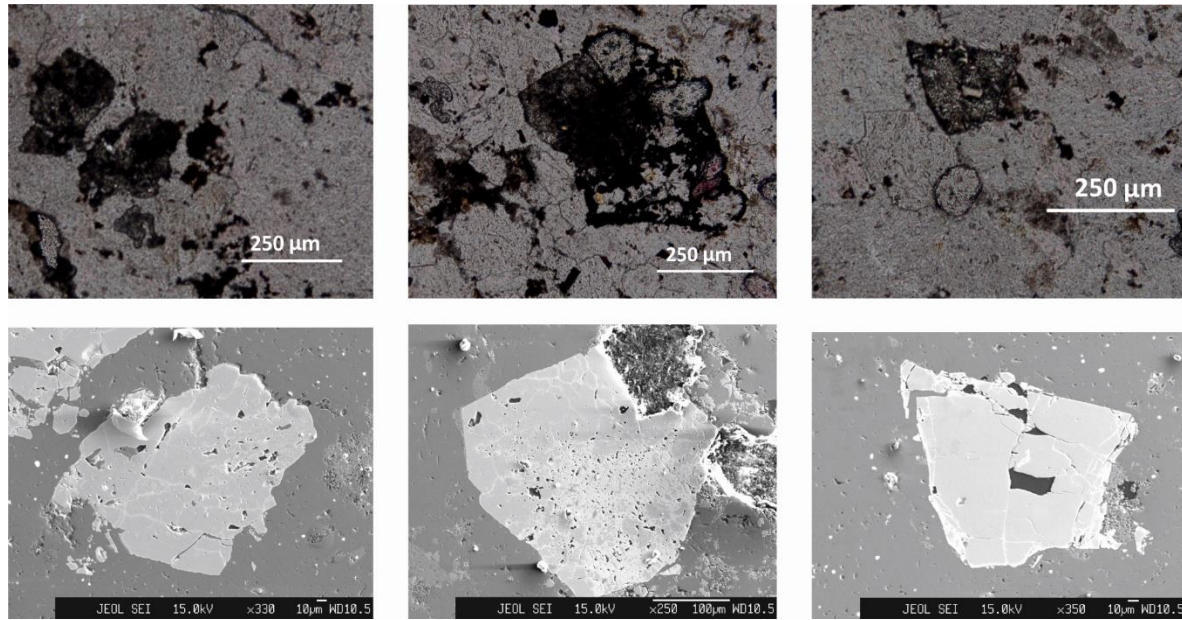
Estampa IV: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, pertencentes ao fenito BLP-32 (A) e ao ferro-carbonatito BLP-40 (B, C, D, E e F). O pirocloro A está bastante alterado, exibindo uma textura de corrosão evidente, com o bordo descorado (na imagem A.1) e com a superfície completamente deteriorada (A.2). As imagens B, C e F representam pirocloros (ou fragmentos de pirocloros com composição relativamente heterogénea). Os pirocloros D e E encontram-se bastante fragmentados, com manchas de lixiviação descoradas em torno das fracturas (dois preenchimentos diferentes, observáveis nas imagens crípticas D.2 e E.2).





Estampa V: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, pertencentes ao ferro-carbonatito BLP-40. Os pirocloros **A**, **B** e **C** estão bastante fragmentados, com manchas de lixiviação descoradas em torno das fracturas (dois preenchimentos diferentes, observáveis nas imagens crípticas **A.2**, **B.2** e **C.2**). A imagem **D** revela um fragmento de pirocloro bem preservado, sem zonamento evidente nem marcas de corrosão significativas.





Estampa VI: Fotomicrografias e imagens de electrões retro-difundidos (obtidas em microsonda electrónica) de cristais de pirocloro (sub)édricos, pertencentes ao cálcio-carbonatito do bordo SE (amostra BLP-39). Embora bastante meteorizados, estes pirocloros não apresentam o mesmo grau de fracturação que os observados para os pirocloros do bordo NE (do sovito e do fenitos). Contudo observam-se as marcas de lixiviação em veios e fracturas, iniciando a alteração do mineral. A porção homogénea dos cristais interpreta-se como primária.